

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ

Diplomová práce

Inovace nápravových ozubených kol

Liberec 2009

Bc. Antonín Krmaš

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program N2341 – Strojní inženýrství

Inovační inženýrství
zaměření inovace výrobku

Katedra částí a mechanismů strojů

Inovace nápravových ozubených kol

Innovation axle tooth system wheel

Bc. Antonín Krmaš
KST –

Vedoucí diplomové práce:
Konzultant diplomové práce:

Ing. Žák Jiří, Ph.D
Milan Doležal WIKOV MGI

Rozsah práce a příloh:

Počet stran:	75
Počet obrázků:	43
Počet tabulek:	4
Počet příloh:	1

Datum: 5. 6. 2009



ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI **Fakulta strojní**

Katedra částí a mechanismů strojů

Studijní obor: 3909T010 – Inovační inženýrství
Jméno: Bc. Antonín Krmaš
Téma práce: Inovace nápravových ozubených kol
Innovation axle tooth system whell
Číslo DP: KST –
Vedoucí DP: Ing. Žák Jiří, Ph.D
Konzultant: Milan Doležal WIKOV MGI

Abstrakt:

Diplomová práce se zabývá problematikou inovace nápravových ozubených kol pro lokomotivy typu T 478.1. Zaměřuje se na posloupnost inovačních metod k výběru vítězné varianty pro její následnou realizaci.

Závěry diplomové práce poskytují informace o provedené inovaci nápravových ozubených kol pro lokomotivu typu T 478.1. Dále poskytuje informace o porovnání původního ozubeného kola s vítězným.

Abstract:

This thesis deal with problems innovation axle tooth system whell for locomotives type T 478.1. Survey with on succession innovative methods to selection winning variants for her resulting realization.

Findings thesis deal offer information about effected innovation axle tooth system whell for locomotives type T 478.1. Futher provides information on comparison original tooth system whell with winning.



Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 5. 6.2009

.....

Bc. Antonín Krmaš
Velké Poříčí
549 32, Náchodská 360



Poděkování:

Chtěl bych tímto poděkovat všem, kteří mi poskytovali cenné rady a připomínky při vypracování mé diplomové práce. Rodičům děkuji za trpělivost a za podporu během celého mého studia. Dále bych chtěl poděkovat katedře KST a zejména vedoucímu diplomové práce ing. Jiřímu Žákovi, Ph.D. za dohled nad diplomovou prací a vždy laskavou, trpělivou pomoc a vstřícné jednání. Zvláštní poděkování patří mému konzultantovi Milanu Doležalovi z firmy WIKOV MGI a ing. Jiřímu Hauptvoglovi za cenné rady.



OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	9
<u>1. ÚVOD</u>	10
1.1 O společnosti Wikov	12
<u>2. OZUBENÉ KOLO</u>	15
<u>3. PLÁNOVÁNÍ INOVACE OZUBENÉHO KOLA</u>	17
3.1 Identifikace inovačních příležitostí	19
3.2 Zhodnocení inovačních návrhů	20
3.3 Alokování zdrojů	21
3.4 Vypracování harmonogramu	21
3.5 Zformulování inovačních prohlášení	22
3.6 Revize výstupů a průběhu procesu	23
<u>4. TVORBA KONCEPTU VÝROBKU</u>	23
4.1 Identifikace zákaznických potřeb	24
4.2 Průzkum trhu	29
4.2.1 Současné ozubené kolo	30
4.2.2 Konkurenční ozubená kola	30
4.3 Návrh vlastního řešení	31
4.3.1 Kolo 1	32
4.3.2 Kolo 2	32
4.3.3 Kolo 3	33
4.3.4 Kolo 4	34
4.5 Výběr konceptu	34
<u>5. METODY PRO DETAILNÍ KONSTRUOVÁNÍ – DFX</u>	36
5.1 DFA	37
5.2 DFM	41
5.3 DFD	42
<u>6. ANALÝZA POMOCÍ SOFTWARE ANSYS WORKBENCH 11.0</u>	43
6.1 Kolo 0	43
6.2 Kolo 1	49
<u>7. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ</u>	55
7.1 Výpočet finálního kola	55
7.2 Výpočet lisovacího tlaku pro ozubená kola	63
<u>8. PROJECT</u>	69
8.1 Plánování projektu pomocí softwaru Microsoft Project	70
<u>9. ZÁVĚR</u>	71
<u>10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</u>	72
<u>11. SEZNAM PŘÍLOH</u>	73



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Re	[MPa]	mez kluzu
Rm	[MPa]	mez pevnosti
v	[km/hod]	rychlost
β	[°]	úhel sklonu ozubení
F	[N]	síla
Fa	[N]	axiální síla
$2D$		dvou dimenzionální prostor
$3D$		tří dimenzionální prostor
Mk	[Nm]	krouťící moment
p	[Pa]	tlak
E	[MPa]	Youngův modul pružnosti v tahu
μ		Poissonovo číslo
Δd	[mm]	přesah
d^I	[mm]	průměr hřídele
d_p	[mm]	průměr po nalisování
d_e	[mm]	vnější průměr ozubeného kola
d^{II}	[mm]	vnitřní průměr ozubeného kola
$\sigma_{r(r)}$	[Pa]	radiální napětí na poloměru r
$\sigma_{t(r)}$	[Pa]	tečné napětí na poloměru r
$\sigma_{r(0)}^I$	[Pa]	radiální napětí hřídele v 0
$\sigma_{r(r_p)}^I$	[Pa]	radiální napětí hřídele na poloměru r_p
$\sigma_{t(r_p)}^I$	[Pa]	tečné napětí hřídele na poloměru r_p
$\sigma_{r(r_e)}^{II}$	[Pa]	radiální napětí ozubeného kola na poloměru r_e
$\sigma_{r(r_p)}^{II}$	[Pa]	radiální napětí ozubeného kola na poloměru r_p
$\sigma_{t(r_p)}^{II}$	[Pa]	napětí ozubeného kola na poloměru r_p
r_e	[mm]	vnější poloměr ozubeného kola
r_p	[mm]	poloměr po nalisování
ε_t	[mm]	poměrná deformace

1. ÚVOD /1/

V současné době jsou na výrobky kladeny vysoké požadavky ze strany zákazníků. Zákazníci dávají přednost kvalitním výrobkům s nízkými provozními náklady a dlouhou dobou životnosti. Stále přísnější požadavky z hlediska ochrany životního prostředí stanovují např. zodpovědnost výrobců za výrobek, rozšířenou na celý životní cyklus výrobku, tedy i po skončení jeho životnosti. Tento cyklus je provázen při realizaci mnoha inovačními nástroji, které se snaží těmto problémům vyvarovat už v primární vývojové fázi výskytu. Výrobce je nucen neustále hledat možnosti jak inovovat své výrobky, předvídat možná rizika, která by je mohla na trhu vyřadit a včas na ně reagovat. Aby byla inovace výrobků úspěšná, je nezbytné posuzovat nejen výrobek samotný, ale provést analýzu výrobku v celém jeho životním cyklu. Inovace v tomto pojetí představuje proces, který začíná nápadem nebo představou, následují různé stupně vývoje, které vyústí do samotné implementace. Inovace je rozhodující pro úspěch na dynamickém trhu a jedním z jejích hlavních cílů je snaha o zvýšení konkurenceschopnosti výrobků a tím zlepšování konkurenční pozice na trhu. Stručně řečeno, inovaci lze chápat jako centrální jev průmyslové dynamiky. Inovace mohou být technologické, materiálové, výrobkové a organizační.



Obr. 1.: Ozubené nápravové kolo

V dnešním světě je pro všechny podniky přínosem každá ušetřená minuta při výrobě. Každý člověk se snaží si co nejvíce usnadnit práci. Výjimku netvoří ani výroba ozubeného kola pro zadní nápravu lokomotivy. Jeho výroba je velmi nákladná a složitá a proto je zde snaha o dosažení maximální trvanlivosti tohoto ozubeného kola.

Firma Wikov MGI je výrobcem nápravových ozubených kol viz obr. 1 pro lokomotivy typu T 478.1 viz obr. 2, ale také výrobcem výrobků pro různé průmyslové obory, jež jsou popsány níže.



Obr. 2.: Lokomotiva typ T 478.1

U nápravových ozubených kol, které jsou předmětem diplomové práce dochází při provozu k opotřebení ozubení. Ozubené kolo vydrží 1/5 životnosti nápravy. V přepočtu na roky ozubení má životnost cca 7 let provozu, pak se musí vyměnit. Poněvadž je ozubené kolo na nápravě nalisované, dochází při jeho demontáži k poškození nápravy, a proto se musí vždy vyměnit celý set (náprava a ozubené kolo). To je velice neekonomické. Kdyby k tomuto jevu nedocházelo, kolo by se měnilo pětkrát za celou životnost nápravy.

Cílem diplomové práce, jež vznikla na základě spolupráce Katedry částí a mechanismů strojů TU v Liberci a firmou Wikov MGI Hronov, je vymyslet a navrhnout konstrukční řešení nápravového ozubeného kola pro lokomotivy typu T 478.1 tak, aby životní cyklus nápravového ozubeného kola byl stejný, jako je životní

cyklus nápravy lokomotivy, nebo vymyslet takové konstrukční řešení, které by odstranilo částečně (popřípadě celkově) neekonomické ztráty při demontáži. Dále navrhnout několik variant řešící tento problém, ty mezi sebou porovnat a postupnými inovačními kroky vybrat jednu konečnou variantu nejvíce vyhovující této problematice. Tuto zvolenou variantu zkonstruovat tak, aby byla možná její výroba, montáž, prodej a následný servis.

1.1 O společnosti Wikov industry a. s /2/

Společnost Wikov industry a.s, se dělí do několika odvětví výrobních závodů viz obr. 3.



Obr. 3.: Struktura společnosti WIKOV Industry a. s

- **Wikov Industry a.s.**

Všechny tyto uvedené firmy ovládá mateřská společnost Wikov Industry a.s, sídlící v Praze.

- **Wikov Gear s.r.o.**

Výrobní závod Wikov Gear s.r.o. sídlí v Plzni a jeho výroba se specializuje na převodovky pro těžký průmysl, rychloběžné převodovky pro energetiku, speciální převodovky pro důlní průmysl, kuželová kola s ozubením Klingelnberg do průměru 1000mm, profilově broušená ozubená kola do průměru 2000mm, ozubená kola do průměru 3500mm, ozubené věnce do průměru 5000 mm.

- **Wikov Wind a.s.**

Společnost Wikov Wind a.s. je průmyslový podnik umístěný v Praze a zabývá se kompletními dodávkami zařízení větrných elektráren, včetně výstavby a servisu.



Obr. 4.: Větrná elektrárna

- **Scana Wikov AS**

Scana Wikov AS umístěný v Norsku je společný podnik Scana Offshore Technologies a Wikov Industry. Specializuje se na dodávky převodových zařízení pro průmysl těžby ropy a plynu.



- **Orbital 2/Czech orbital 2**

Společnost Orbital 2 (sídlicí ve Velké Británii, Wales) a její česká obdoba Czech Orbital 2 působí jako vývojová a konstrukční kancelář. Zabývá se převážně v oblasti konstrukcí planetových převodovek.

- **Wikov China**

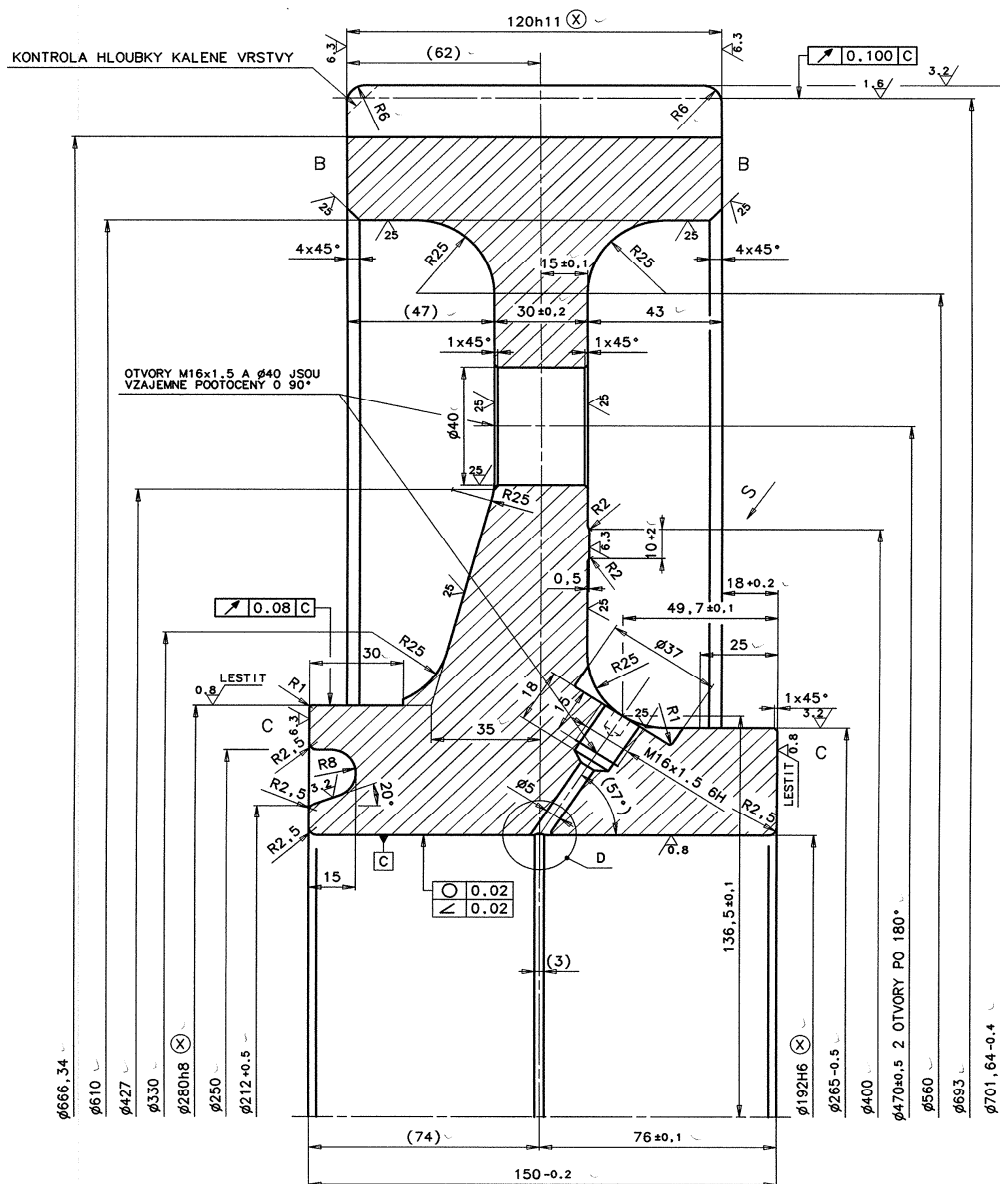
B.R.O. – působí jako obchodní a nákupní kancelář skupiny Wikov se sídlem na Taiwanu.

- **Wikov MGI a.s.**

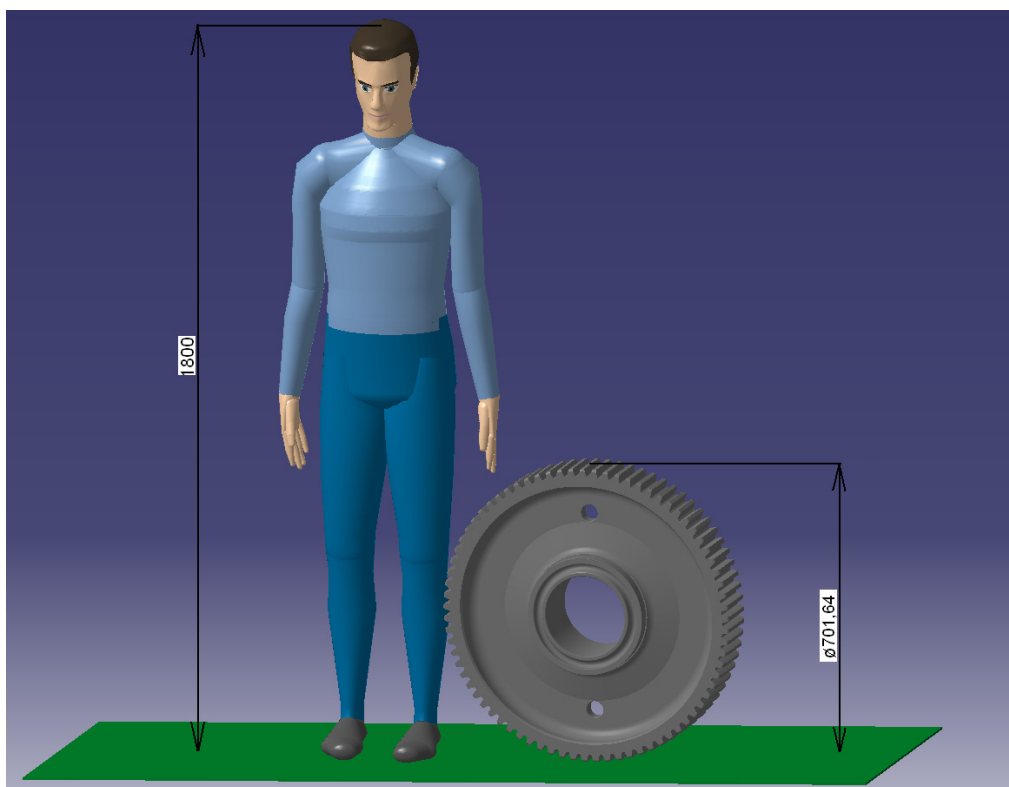
Výrobní závod Wikov MGI, dříve společnost ČKD, sídlí v Hronově, a jeho výroba se specializuje na průmyslové převodovky pro různé obory, speciální převodovky pro větrnou a vodní energetiku, průmysl těžby ropy a zemního plynu, speciální převody pro lodní průmysl a kolejová vozidla.

2. OZUBENÉ KOLO /3/, /4/, /5/

Ozubené kolo viz obr. 5a a 5b je, jak už bylo výše uvedeno, nalisované na nápravě s tolerancí H6/u6 a je poháněno přes pastorek trakčním motorem viz obr. 6. Materiál ozubeného kola je 14 341 s mezí kluzu $Re \approx 700 \text{ MPa}$. Trakční motor je uložen na nápravě neodpruženě pomocí tlakových ložisek. Trakční motor je elektromotor zajišťující pohon hnací železniční lokomotivy s elektrickým přenosem výkonu.

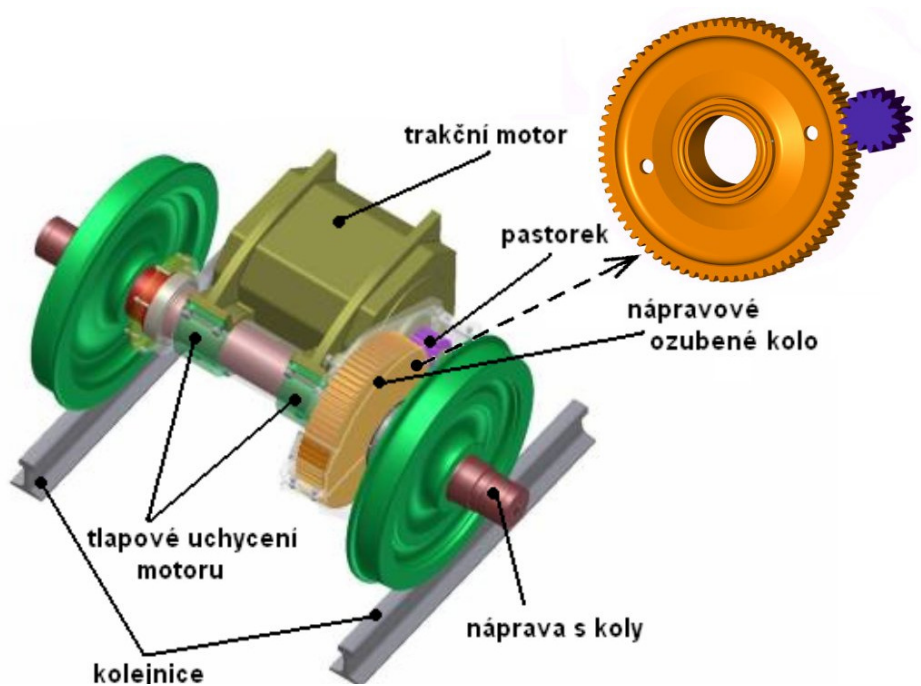


Obr. 5.: a) Ozubené kolo v řezu s kótami



Obr. 5.: b) Reálné ozubené kolo, prostředí CATIA V5R18

Elektromotor je elektrický točivý stroj, přeměňující elektrickou energii na energii mechanickou. Pastorek a ozubené kolo je uloženo v uzavřené vaně s olejovou náplní, která toto soustrojí maže.



Obr. 6.: Kompletní poháněcí soustava lokomotivy typu T 478.1

Výroba ozubeného kola se skládá z několika operací, které jsou prováděny ve firmě Wikov MGI (kromě zápusťkového kování). Tato technologie je využita pouze pro přípravu polotovaru, který se dále zpracovává ve společnosti Wikov MGI, kde dostane konečnou podobu. Výrobní postup ozubeného kola pro lokomotivu zde bude uveden pouze ve stručnosti, neboť se jedná o interní dokumentaci firmy.

Než dostane ozubené kolo konečnou podobu pro jeho uplatnění na ČD, prochází těmito kroky:

- příprava polotovaru – zápusťkové kování
- soustružení na příslušné rozměry
- zušlechťování – ozubené kolo dostane svou tvrdost
- popouštění – odstranění vnitřního pnutí, které vzniklo v předchozím kroku a tedy v kalení
- žíhání – odstranění zbytkového pnutí
- soustružení, frézování a vrtání
- válečkování – zuby kola podstupují této operaci za účelem zpevnění pat zubů
- broušení ozubení a kontrola ozubení, odmaštění a defektoskopie
- konečná kontrola ozubeného kola a konzervace
- dále se kolo převáží do skladu pro přípravu na odběr od ČD

3. PLÁNOVÁNÍ INOVACE OZUBENÉHO KOLA /6/

Cílem úvodní fáze inovačního cyklu je sestavení portfolia (souhrnu akcí) inovovaných produktů a vypracování harmonogramu jejich zavádění na trh. Je tedy zřejmé, že fáze plánování výrobků vždy předchází vlastnímu procesu (technického) vývoje výrobku, tj. předchází formálnímu schválení inovačních projektů, nasazení výraznějších zdrojů organizace i zformování projektových týmů. Správný průběh procesu plánování inovace výrobků je zárukou, že inovovaný výrobek bude v souladu s širšími obchodními záměry společnosti.

Při plánování inovace výrobku si musíme položit a zodpovědět například následující otázky:

- Jaké inovační projekty zahájíme?

- Půjde o úplně nové, zlepšené nebo derivované výrobky?
- Na jaký trh (segment) bude inovace orientována?
- Jaké nové technologie budou zahrnuty do inovačního procesu?
- Jaké jsou cíle a omezení výrobních procesů?
- Jaký je vlastní finanční cíl inovace?

Odpovědi na výše uvedené otázky:

- ✓ Je potřeba inovovat stávající nápravové ozubené kolo pro lokomotivu typu T 478.1.
- ✓ Půjde o zlepšený, popřípadě derivovaný výrobek.
- ✓ Nápravové ozubené kolo pro lokomotivy bude navrženo pro lokomotivy typu T 478.1 využívajícími českými drahami ČD.
- ✓ Žádné nové technologie nebudou zahrnuty do inovačního procesu.
- ✓ Cíle výrobních procesů jsou zhotovit kvalitní výrobky bez omezení na aktivní kontrole jakosti.
- ✓ Zamezit poškození nápravy lokomotivy, při demontáži ozubeného kola.

Protože inovační proces není hra na náhodu, ani cesta výjimečným vědeckým objevem, lze inovace systematicky plánovat, a dokonce tento proces řídit. Pro tento proces je vhodné využít určité metodické postupy, které celou fázi plánování inovace zrychlují a zefektivňují. V této fázi dominují zejména kvalitativní a kvantitativní metody marketingového výzkumu. Použití jednotlivých metod vychází z kroků, které musíme v úvodní fázi inovačního procesu učinit. Jedná se zejména o:

- identifikaci inovačních příležitostí
- zhodnocení inovačních návrhů
- alokaci zdrojů
- vypracování harmonogramu
- zformulování inovačního prohlášení
- revize výstupů a průběhu procesu

Tyto kroky není nutné provádět v daném uvedeném pořadí, ale je možné využít i paralelní průběh, kterému je vlastní trvalé kritické posuzování a reflexe potřeb a možností společnosti i vazeb mezi různými inovacemi.

3.1 Identifikace inovačních příležitostí /6/

Proces plánování začíná při identifikaci příležitostí. Tyto inovační příležitosti mohou být založeny na:

1. nové výrobní platformě (nová rodina výrobků, založená na platformě současné – rozšíření a udržení současných trhů)
2. derivátu existující platformy (rozšíření sortimentu současných výrobků – rozšíření současných trhů)
3. dílčí zlepšení existujícího výrobku (jedná se o modifikaci některých charakteristik – udržuje současné trhy)
4. úplně novém výrobku (dramaticky odlišný výrobek nebo technologie – získání nového trhu)

V tomto případě se jedná o bod dva a tři.

- ✓ derivátu existující platformy
- ✓ dílčím zlepšením inovačního výrobku

Mezi metody vhodné pro tuto fázi inovačního procesu patří zejména metody propracované v rámci teorie marketingu a benchmarkingu jako jsou například:

- analýza reklamací
- interview s uživateli a zákazníky
- analýza trendu v životním stylu, demografických veličinách a technologiích
- sběr názorů současných zákazníků
- studium konkurenčních výrobků
- analýza stavu nově se vyvíjejících technologií
- analýza výsledků základního a aplikovaného výzkumu
- inovativní marketing

Při inovaci zadaného nápravového ozubeného kola se vycházelo z těchto vybraných specifikací:

- ✓ analýza reklamací
- ✓ interview s uživateli a zákazníky
- ✓ sběr názorů současných zákazníků
- ✓ studium konkurenčních výrobků

3.2 Zhodnocení inovačních návrhů /6/

V případě, že je vyhledávání příležitostí dobře organizováno a řízeno, mohou být během jednoho roku identifikovány stovky inovačních příležitostí a návrhů. Druhým krokem v této fázi inovačního procesu je proto výběr návrhů, slibujících splnění podnikatelských cílů. Při redukování inovačních návrhů se podniky mohou dopustit dvou zásadních chyb:

- opomenutí – vznikne tehdy, jestliže firma opustí dobrý nápad
- pokračování – dopustíme se jí tehdy, když připustíme, aby se nekvalitní nápad dostal do fáze vývoje resp. ještě dále

Je tedy nutné zhodnotit jednotlivé návrhy a identifikovat dobré, resp. špatné návrhy. Pro hodnocení jednotlivých inovačních návrhů se využívají různá hlediska, mezi která patří například:

- shoda s konkurenční strategií firmy
- uplatnění v jednotlivých segmentech trhu
- posouzení z hlediska technologických trajektorií
- kapitálová připravenost firmy

Z hlediska konkurenční strategie společnosti je nutné posoudit, jak je hodnocený návrh blízký záměrům (vizi) společnosti, která může být orientována různými směry (napodobování...).

3.3 Alokování zdrojů /6/

Žádný podnik si nemůže dovolit započít mnoho inovačních projektů bez ohledu na dostupnost zdrojů potřebných pro jejich realizaci. Výsledkem takového postupu je, že kvalifikovaní pracovníci, inženýři i manažeři jsou více a více zapojováni do dalších inovačních projektů, což následně způsobuje zdržení, prodloužení doby uvedení na trh, snížení produktivity prací v inovačním procesu i snížení plánovaných zisků. Metodou vhodnou pro redukci těchto negativních projevů je tzv. souhrnné plánování (*aggregate planning*), které zajistí efektivní nasazení podnikových zdrojů do projektů, které tak mohou být dokončeny v rámci rozpočtových zdrojů i v plánovaném čase.

V této fázi je nutné pečlivě naplánovat (odhadnout) potřebu jednotlivých zdrojů pro realizaci každého inovačního projektu s přesností na roky, čtvrtletí, resp. měsíce. Mezi hlavní plánované položky patří např.:

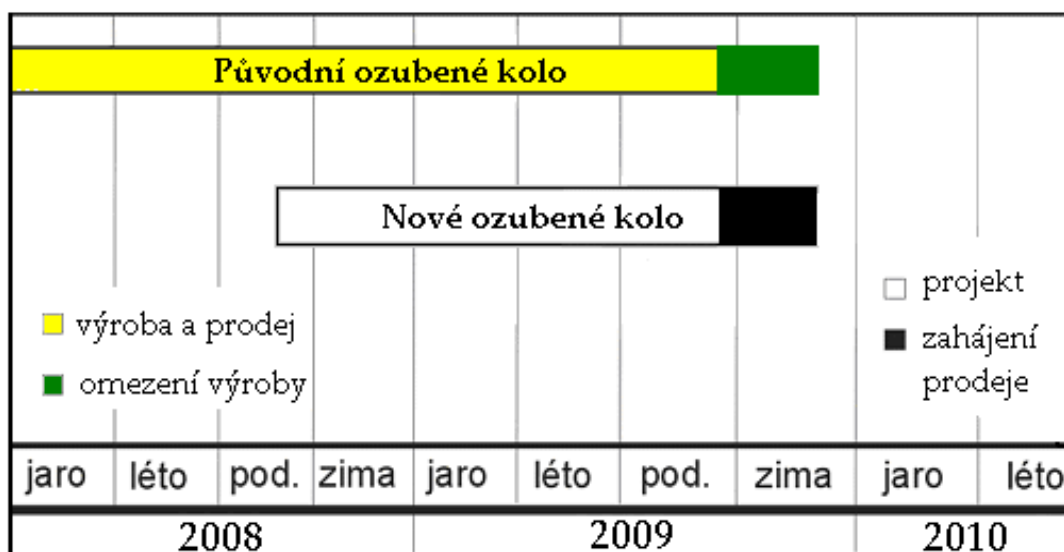
- potřeba lidských zdrojů v různých kvalifikacích
- potřeba zařízení pro uplatnění metody *rapid prototyping*
- potřeba pilotní haly/linky
- potřeba testovacího zařízení

3.4 Vypracování harmonogramu /6/

Rozložení inovačních projektů v čase je znázorněno ve standardním harmonogramu, který má zpravidla podobu úsečkového grafu. Při sestavování harmonogramu musíme vzít do úvahy několik důležitých faktorů jako je např.:

- načasování doby uvedení výrobku na trh
- dostupnost ověřených technologií
- připravenost trhu
- harmonogramy konkurenčních výrobků

Příklad harmonogramu (výrobního plánu) pro inovační projekty původního a nového nápravového ozubeného kola, který obsahuje informace o časovém rámci obou projektů, je znázorněn na obr. 7.



Obr. 7.: Příklad harmonogramu projektu nápravového ozubeného kola

3.5 Zformulování inovačních prohlášení /6/

V tomto kroku musí být inovační návrh přeformulován do tzv. inovačního prohlášení (mise). Jedná se o dokument, který sumarizuje směry, které by měly být sledovány ve fázi vývoje výrobku. Toto prohlášení by mělo obsahovat následující informace:

- výrobová vize (product vision statement) – jednověťý popis výrobku resp. klíčový přínos pro zákazníka
 - klíčové obchodní cíle (key business goals)
 - primární (cílový) trh (primary market)
 - podružné trhy (secondary market)
 - předpoklady a omezení (assumptions and constraints)
 - účastníci inovačního procesu (stakeholders)
- ✓ Nápravové ozubené kolo pro lokomotivu typu T 478.1 by mělo splňovat požadavky zákazníka. Dále by mělo být spolehlivé pro jeho dostatečnou životnost a nemělo by omezovat zákazníka při jeho užívání a servisu.

3.6 Revize výstupů a průběhu procesu /6/

V závěru plánování inovace se musíme zabývat jednak revizí a kvalitou jednotlivých výstupů, jednak revizí a vlastním průběhem úvodní fáze inovačního procesu. Měli bychom si za účasti pracovníků z vývoje projít jednotlivé výstupy procesu plánování inovace a odpovědět na otázky typu:

- Shromáždili jsme všechny zajímavé inovační příležitosti?
- Podporuje náš plán konkurenční strategii firmy?
- Uvážili jsme celé spektrum možností, jak získat zdroje pro inovační projekty (výrobní platformy, zdroje a fondy EU, joint venture apod.)?
- Je inovační prohlášení (mise) konzistentní?
- Můžeme příště zlepšit proces plánování inovace?

Jedná se o nejlepší a zároveň nejlevnější možnosti, jak odstranit nedostatky a „trhliny“ v inovačním procesu v době, než přejde do fáze tvorby výrobního konceptu.

4. TVORBA KONCEPTU VÝROBKU /6/

Proces vytváření konceptu inovovaného výrobku, jako další fáze inovačního procesu, se skládá z následujících dílčích aktivit

- identifikace zákaznických potřeb
- specifikace charakteristik výrobku
- generování konceptu inovovaného výrobku
- výběr nejlepšího výrobku
- ověřování zvoleného konceptu
- naplánování projektu

V této fázi musíme důsledně rozlišovat potřeby zákazníka (*customer needs*, *customer requirements*) a charakteristiky výrobku (*product specifications*). Potřeby jsou plně nezávislé na jakémkoliv výrobku, který můžeme vyvinout. Nejsou tedy specifické pro koncept, který se nakonec rozhodneme realizovat. Inovační tým

by měl proto tyto potřeby přesně identifikovat, bez ohledu na to, jak je následně uspokojí ve svém návrhu. Na druhé straně jsou charakteristiky výrobku plně závislé na konceptu, pro jehož realizaci se nakonec rozhodneme.

4.1 Identifikace zákaznických potřeb /4/, /6/

Filozofie metod pro identifikaci zákaznických potřeb vychází ze snahy vytvořit vysoce kvalitní informační tunel mezi zákazníky na cílovém trhu a pracovníky podílejícími se na inovaci výrobku. Předpokladem úspěchu je to, že management a členové inovačního týmu, kteří bezprostředně ovlivňují charakteristiky výrobku, musí být v přímém kontaktu se zákazníky, a mít zkušenosti s chováním a používáním výrobku. Bez této přímé zkušenosti nemohou být technická řešení a zákonité kompromisy udělány dobře, tím pádem nebudou objevena skutečně inovační řešení. Cílem metod zaměřených na identifikaci zákaznických potřeb je proto zejména:

- identifikovat skryté a zřejmé potřeby zákazníka
- zajistit, že nebude opomenuta žádná zásadní potřeba
- umožnit ověření vazby mezi potřebami a charakteristikami výrobku
- zaznamenat informace o zákaznických potřebách
- usnadnit porozumění jednotlivým potřebám zákazníků manažery a členy inovačního týmu

Identifikace zákaznických potřeb je dílčím procesem, skládajícím se z následujících pěti kroků:

1. sběr dat od zákazníků
2. interpretace dat
3. uspořádání potřeb do skupin
4. určení relativní významnosti jednotlivých potřeb
5. revize výsledků

ad 1) sběr dat od zákazníků českých drah ČD:

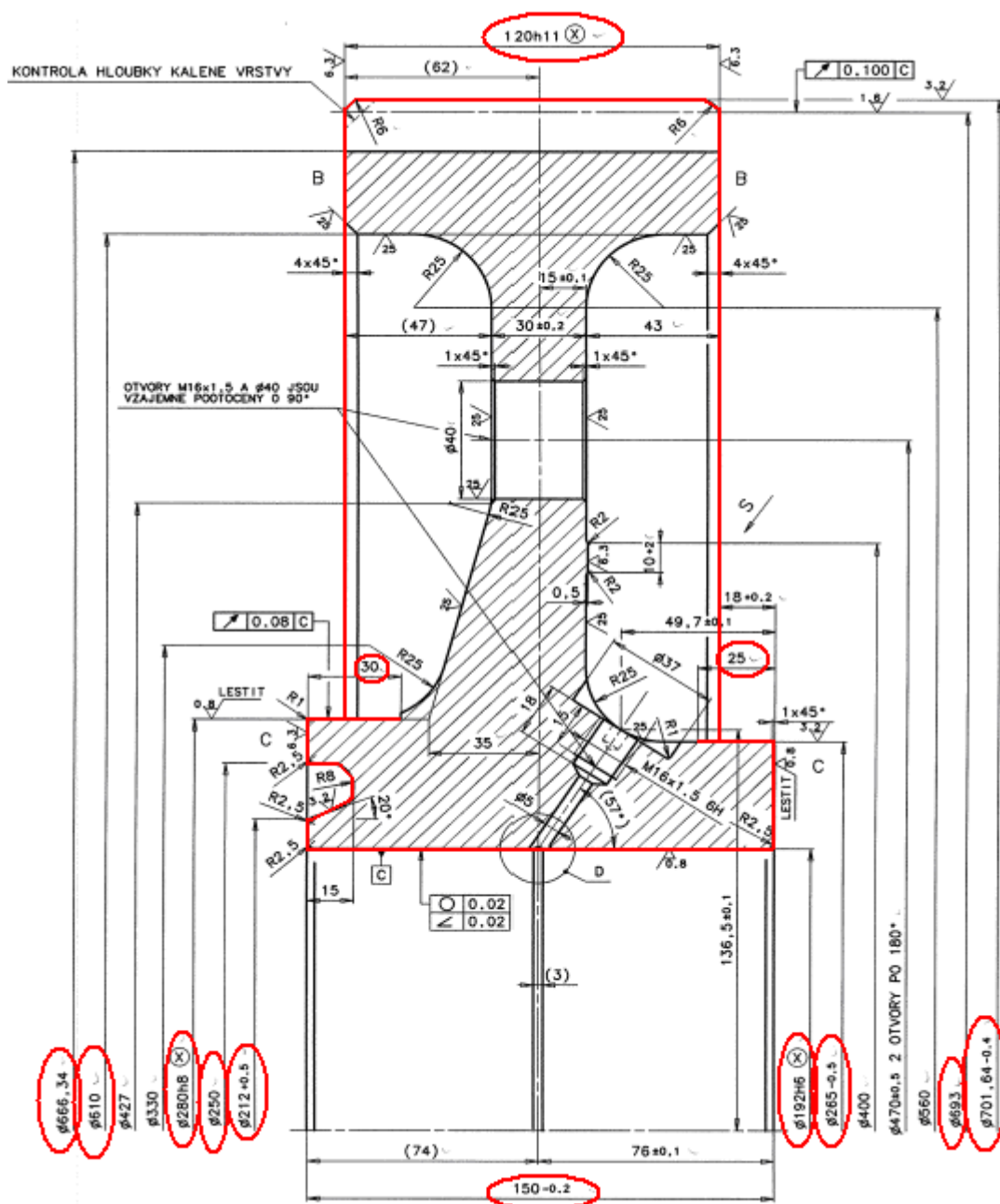
Jelikož se jedná o specifický výrobek, byl sběr dat od zákazníků problematický. Zde bylo tedy omezení na odborníky při jeho montáži, výrobě, konstruování a následném servisu, a na požadavky vedení firmy.

ad 2) interpretace dat:

Inovace pro nápravové ozubené kolo pro lokomotivy typu T 478.1 tak, aby životní cyklus nápravového ozubeného kola byl stejný s nápravou lokomotivy, nebo vymyslet takové inovační řešení, které by odstranilo částečně, popřípadě celkově neekonomické ztráty při demontáži. Inovací nápravového ozubeného kola musí být zachováno lisovacího spoje s nápravou. Náprava a technologie pohybu kompletní sestavy se nesmí změnit. Důležitým krokem je zachování daných tvarů a kót ozubeného kola podle obr. 8, (červenou barvou je znázorněn tvar a kóty, které jsou žádány pro jejich zachování). Věnc ozubeného kola musí být vyráběn technologií kování. Snaha ke snížení výrobní ceny oproti původnímu ozubenému kolu. Manipulace při demontáži by měla být nenáročná, při výrobě by měly být maximálně využity možnosti ve vlastní firmě, kromě technologie, které daná firma neposkytuje (jedná se o lití a kování).

Tab. 1.: Tabulka s interpretacemi dat

Životní cyklus stejný (náprava a ozubené kolo)
Odstranění neekonomických ztrát při demontáži
Snížení výrobní ceny
Výroba ozubeného kola jen ve vlastní firmě (nepočítá se lití a kování)
Náprava se nesmí změnit
Technologie pohybu se nesmí změnit
Snadná montáž a demontáž
Zachování daných tvarů a kót ozubeného kola
Kolo musí být umístěné na zadní nápravě
Ozubené kolo musí být v záběru s pastorkem od trakčního motoru
Ozubené kolo lze snadno demontovat ze zadní nápravy
Tlapové uchycení trakčního motoru na nápravě
Výroba věnce ozubeného kola technologií kování
Ozubené kolo musí být nalisované na nápravě



Obr. 8.: Ozubené kolo s vyznačením požadovaných tvarů a kót pro jejich zachování

ad 3) uspořádání potřeb do skupin:

Afinní diagram zákaznických potřeb, kde jsou jednotlivé, již interpretované potřeby spořádány do skupin.



Afinní diagram zákaznických potřeb

Umístění ozubeného kola

Kolo musí být umístěné na zadní nápravě

Ozubené kolo musí být v záběru s pastorkem od trakčního motoru

Trakční motor musí být upevněn na zadní nápravě pomocí tlapového uchycení

Tvar ozubeného kola nesmí narušit tvar převodové skříně

Zadní náprava musí mít zachovány všechny své rozměry

Ozubené kolo musí být nalisované na nápravě

Funkce ozubeného kola

Ozubené kolo musí mít patřičný tvar a rozměry

Ozubené kolo splňuje rychlostní požadavky zákazníka

Spolehlivost při používání

Stálost chodu

Ozubení přímé

Ozubení šikmé-nesmí dojít k poškození ložisek

Ozubené kolo musí být z oceli

Ozubené kolo musí být pro daný typ lokomotivy

Tvar ozubeného kola musí splňovat jednoduchou montáž a demontáž

Nesmí dojít k porušení nápravy při demontáži ozubeného kola

Výroba věnce ozubeného kola technologií kováním



Přínosy ozubeného kola

Snížení nákladů na výrobu
Odstranění poškození nápravy při demontáži ozubeného kola
Zjednodušení manipulace
Jednoduchá výměna
Lepší skladovatelnost
Minimalizace podílu další firmy na výrobě ozubeného kola
Spokojenost zákazníka
Použití standardních materiálů
Jednoduchá montáž a demontáž ozubeného kola

ad 4) určení relativní významnosti jednotlivých potřeb:

K ohodnocení významnosti jednotlivých potřeb zákazníky byla použita následující škála významnosti a zařazena do následující tabulky:

1. po této vlastnosti výrobku netoužím, neuvažoval bych o výrobku s podobnou vlastností
2. tato vlastnost není pro mne významná, ale nevadilo by mi ji mít
3. bylo by dobré, aby tuto vlastnost výrobek měl, ale není to nutné
4. tuto vlastnost výrobku bych velmi ocenil
5. vlastnost, bez které bych výrobek nechtěl



Tab. 2.: Význam zákaznických potřeb

č.	Potřeba	Relativní význam
1	Životní cyklus stejný (náprava a ozubené kolo)	4
2	Odstranění neekonomických ztrát při demontáži	5
3	Snížení výrobní ceny	3
4	Výroba ozubeného kola jen ve vlastní firmě (nepočítá se lití a kování)	4
5	Náprava se nesmí změnit	5
6	Technologie pohybu se nesmí změnit	5
7	Snadná montáž a demontáži	4
8	Zachování daných tvarů a kót ozubeného kola	5
9	Musí být umístěné na zadní nápravě	5
10	Ozubené kolo musí být v záběru s pastorkem od trakčního motoru	5
11	Ozubené kolo lze snadno demontovat ze zadní nápravy	3
12	Tlapové uchycení trakčního motoru na nápravě	5
13	Ozubené kolo musí být nalisované na nápravě	5
14	Výroba věnce ozubeného kola technologií kování	4

4.2 Průzkum trhu /6/

Tato oblast inovačního kroku je velmi důležitá pro správný postup při inovaci výrobku. Snažením bylo získat co nejvíce informací od zdrojů k danému následně inovovanému výrobku. Jelikož se jedná o specifický výrobek, bylo tedy složité získat jakékoliv informace o výrobku. Každá firma si své know-how velice brání, a tak je velmi těžké získat jakékoli podrobnější informace potřebné k důkladné studii nabízených ozubených kol podle inovačních postupů výběru nového výrobku. Informace o ozubeném kole byly získány díky internetu a osobnímu kontaktu s danými odborníky při jeho montáži, výrobě, konstruování a následném servisu a na požadavcích firmy.

4.2.1 Současné ozubené kolo /4/

Současné ozubené kolo viz obr. 9, je výrobkem firmy Wikov MGI. Tato firma má na dané ozubené kolo licenci, tedy nemůže existovat konkurence tohoto přeného ozubeného kola pro lokomotivu typu T 478.1.



Obr. 9.: Nápravové ozubené kolo

4.2.2 Konkurenční ozubená kola /1/, /5/, /10/, /11/, /13/, /14/, /15/, /16/

Přestože byly informace o ozubeném kole pro lokomotivy od uvedených firem těžko sehnatelné, nakonec se některé z nich podařilo získat. Mezi firmy, které poskytly informace patří: Contra Praha s.r.o., BONATRANS GROUP a.s., CNC kovoobrábění – Marek Šuba, Consenta spol. s.r.o., ZPA – Praga a.s., TOS Znojmo a.s., Vítkovice, CZ loko a další. Konkurenční ozubená kola byla na první pohled stejná, jako je původní ozubené kolo. Informace byly získány od různých typů lokomotiv. Mezi typy lokomotiv patří i rychlojedoucí vlaky, jako je Pendolino. Tento druh vlaku jezdí s porovnáním lokomotivy typu T 478.1, jež je předmětem diplomové práce, jednou tak rychleji. Maximální rychlost lokomotivy typu Pendolino je cca 240km/h a lokomotivy typu T 478.1 100km/h. Kola konkurencí se konstruují jako jeden kus, stejně jak původní ozubené kolo. Lokomotiva typu Pendolino má

mezi nápravou a trakčním motorem převodovou skříň, která zajišťuje výše uvedenou maximální rychlost. U žádné z konkurencí

se nevyskytl inovovaný konstrukční monoblok, tedy věnec a náboj. Rozdíl mezi současným ozubeným kolem a koly konkurencí se liší v:

- ✓ průměr ozubeného kola – narůstá s rychlostí vlaku
- ✓ počet zubů
- ✓ modul
- ✓ materiál ozubeného kola
- ✓ snížení ozubení

4.3 Návrh vlastního řešení /4/, /18/

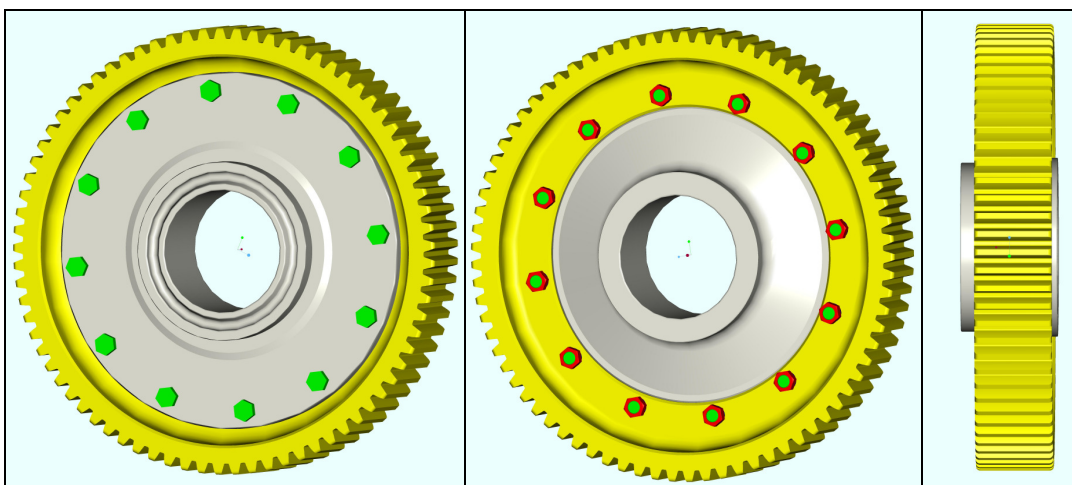
Při návrhu vlastního řešení byly použity cenné informace a rady od odborníků. Vycházelo se z původního ozubeného kola a ze sběru dat zákaznických potřeb, které vyžadovala firma Wikov MGI. Byly navrženy čtyři varianty řešení se stejným způsobem uložení (lisování) na nápravu lokomotivy typu T 478.1. Všechny čtyři varianty vychází z původního ozubeného kola při zachování požadovaných rozměrů firmy Wikov MGI. Snahou bylo navrhnout takové řešení, které vyřeší všechny nebo aspoň část problémů, které provází původní ozubené kolo. Nejdůležitějším krokem bylo vyřešit problém týkající se životnosti ozubeného kola a jeho následného demontování. Všechny varianty se skládají ze dvou částí (věnec a náboj) a jejich následné modifikace řešení spojení těchto dvou částí. Při takto řešené variantě ozubeného kola, dochází nejen k vyřešení snadné výměny věnce, ale i k ušetření materiálu. Původní ozubené kolo bylo vyráběno podle požadavků na ozubení (kvalitu a co nejdelší životnost ozubení) technologií výroby kování, ale zbytek kola u nové varianty, odléváním. Tedy tyto obě technologie výroby požadují své konkrétní materiály. Původní kolo tedy bylo vyráběno pouze technologií kování, a u navržených řešení se mohou použít obě již zmiňované technologie výroby (jak kování na věnec ozubení, tak odlévání na náboj kola). Na věnec jsou veliké požadavky na přesnost výroby a na životnost. Zuby na věnci musí být přené a pevné aby vydržely co nejdéle. Na náboj pak nejsou kladeny tak vysoké požadavky, jako na

věncem. Na výrobu je tedy možno použít větší škálu materiálu a technologií výroby, než je technologie odlévání při zachování firemních požadavků.

4.3.1 Kolo 1

- se šrouby a matkami – přímé ozubení viz obr. 10

Zde bylo opuštěno od původního ozubeného kola, které se skládalo z jednoho kusu. Tento jeden kus byl nahrazen monoblokem (věncem a nábojem) při zachování rozměrů požadovaných firmou Wikov MGI. Náboj bude stejně jako původní ozubené kolo nalisovaný na nápravě s původní tolerancí H6/u6. Po konzultaci s firmou vznikla tolerance mezi věncem a nábojem H7/js6. Spojení věnce a náboje je realizováno pomocí dvanácti šroubů a dvanácti matic o velikosti M20. Ve věnci a náboji jsou vytvořeny otvory pro dané velikosti šroubu. Šrouby jsou nasazeny do předem zhotovených otvorů a následně utaženy příslušnými maticemi.

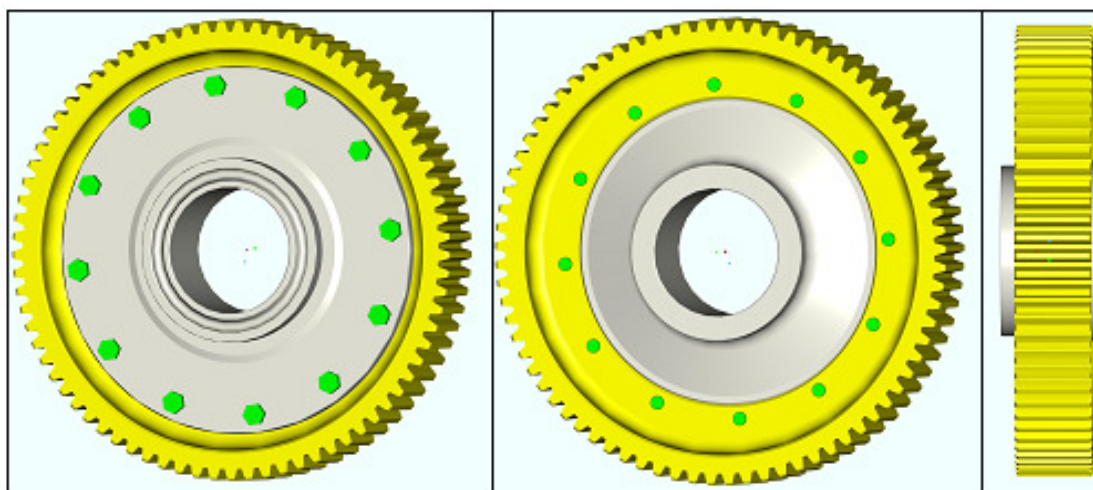


Obr. 10.: Monoblok se šrouby, podložkami a matkami s přímým ozubením

4.3.2 Kolo 2

- se šrouby – přímé ozubení viz obr. 11

Toto kolo je obdoba kola předchozího lišící se pouze spojením věnce a náboje. Spojení věnce s nábojem je u tohoto případu řešeno pomocí šroubů 12xM20. Ve věnci je vytvořen závit pro daný velikost šroubu, tyto šrouby jsou zašroubovány do věnce.

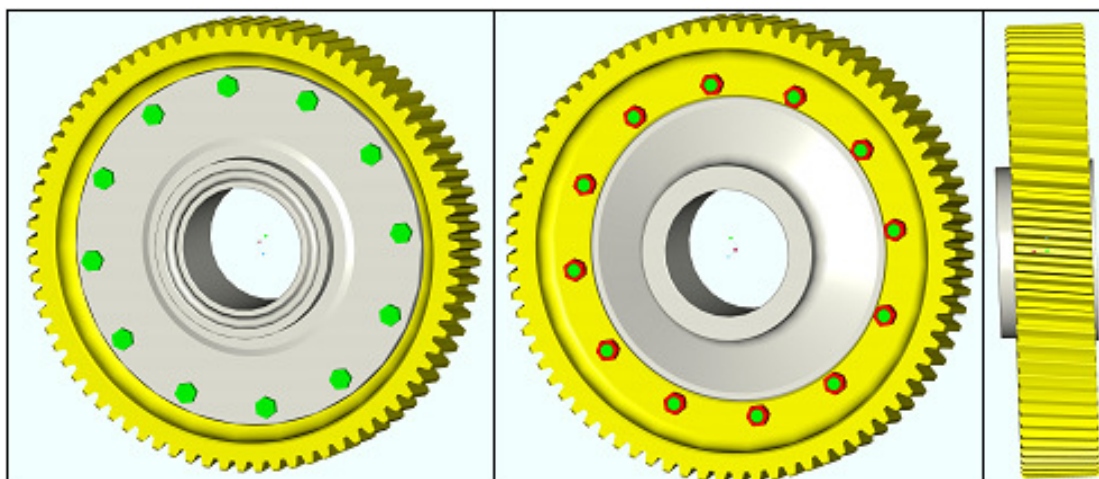


Obr. 11.: Monoblok se šrouby s přímým ozubením

4.3.3 Kolo 3

- se šrouby a matky – šikmé ozubení viz obr. 12

Toto kolo je obdoba kola označeného Kolo 1 a liší se pouze sklonem ozubení. Sklon ozubení je navolen $\beta = 6^\circ$. Při úhlu β vzniká axiální síla F_a . Hodnota sklonu ozubení vychází z požadavků výrobce. Síla F_a namáhá tlaková ložiska, která se mohou porušit. Tato hodnota sklonu ozubení je nadefinována tak, aby k tomuto porušení nedocházelo. U přímého ozubení tato síla není, proto toto poškození nehrozí.

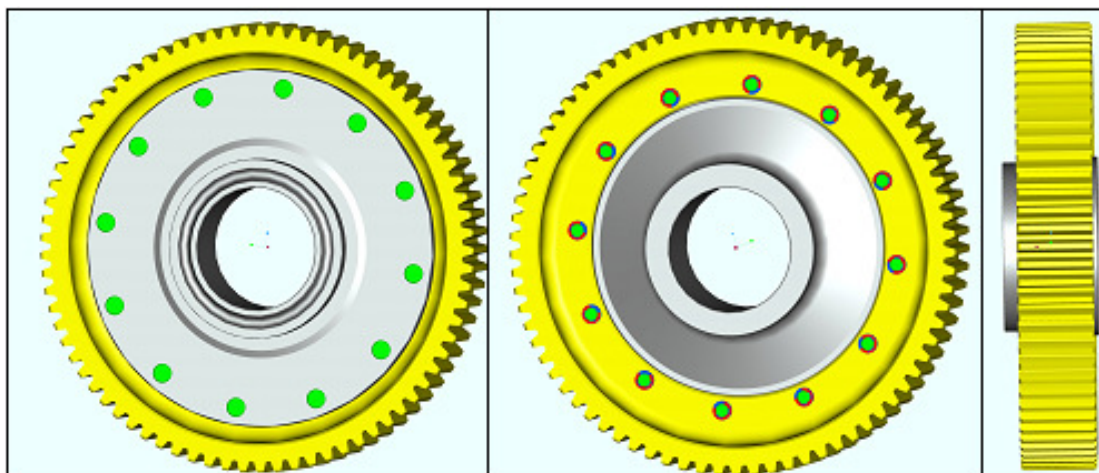


Obr. 12.: Monoblok se šrouby, podložkami a maticemi se šikmým ozubením

4.3.4 Kolo 4

- s čepy – přímé ozubení viz obr. 13

Toto kolo je také obdoba kola označeného Kolo 1, které se liší pouze formou zajištění věnce a náboje proti pohybu. Zajištění věnce s nábojem je u tohoto případu řešeno pomocí čepů s hlavou 12x Ø20. Ve věnci a náboji jsou vytvořeny otvory pro tento průměr čepů. Čepy jistí pomocné pojistné kroužky.



Obr. 13.: Monoblok s čepy a pojistnými kroužky s přímým ozubením

4.5 Výběr konceptu /6/

Výběr konečného konceptu inovačního výrobku je interaktivní proces, při kterém se zabýváme zhodnocením vygenerovaných dílčích konceptů a výběrem jednoho nebo několika konceptů pro další vývoj, zlepšování a testování. K tomuto účelu se využívá celá řada metod s různou úrovní objektivitu a subjektivitu:

- intuitivní výběr – koncept je vybírán na základě pocitů (projekt se prostě „zdá lepší“ než jiný)
- externí posouzení konceptu – koncept je rozebírán se zákazníky, experty a dalšími odborníky
- volba – každý člen týmu volí několik navržených konceptů, přičemž vítězí koncept s největším počtem hlasů
- analýza silných a slabých stránek – inovační tým sestaví seznam slabých a silných stránek jednotlivých konceptů
- rozhodovací matice – tým oceňuje každý koncept na základě předem stanovených kritérií, která mohou mít různé váhy (viz tab. 3 a 4).



Tab. 3.: Rozhodovací tabulka pro hrubé rozřídění konceptů

Kritérium	Koncepty				
	Kolo 0	Kolo 1	Kolo 2	Kolo 3	Kolo 4
stálost chodu	0	0	0	+	0
přímé zuby	+	+	+	-	+
šikmé zuby	-	-	-	+	-
počet dílů	+	0	0	0	0
způsob zajištění	0	+	+	+	-
trvanlivost	-	-	-	+	-
axiální síla (Fa)	+	+	+	-	+
výroba	+	0	-	-	0
montáž	+	0	-	0	-
hmotnost	-	+	+	+	+
tvar	-	+	+	+	+
servis	-	+	+	0	+
demontovatelnost	-	+	-	+	-
cena	-	+	+	0	+
součet (+)	6	8	8	7	6
součet (0)	2	4	2	4	3
součet (-)	7	2	5	3	5
skóre	-1	6	3	4	1
pořadí	5.	1.	3.	2.	4.
další postup	ne	ano	ano	ano	ano

Tab. 4.: Rozhodovací tabulka pro detailní hodnocení konceptů

Tab. 4.: Rozhodovací tabulka pro detailní hodnocení konceptů

Kritérium	váha	koncepty							
		Kolo 1		Kolo 2		Kolo 3		Kolo 4	
		hodnota	vážená	hodnota	vážená	hodnota	vážená	hodnota	vážená
			Hodnota		hodnota		hodnota		hodnota
počet dílů	20%	3	0,60	3	0,60	3	0,60	3	0,60
způsob zajištění	30%	4	1,20	4	1,20	4	1,20	1	0,30
trvanlivost	90%	1	0,90	1	0,90	4	3,60	1	0,90
montáž	50%	3	1,50	1	0,50	3	1,50	1	0,50
hmotnost	5%	4	0,20	4	0,20	4	0,20	4	0,20
servis	30%	5	1,50	4	1,20	1	0,30	4	1,20
demontovatelnost	90%	5	4,50	2	1,80	5	4,50	1	0,90
cena	30%	4	1,20	4	1,20	3	0,90	4	1,20
preference firmy	90%	5	4,50	1	0,90	1	0,90	1	0,90
součet		16,10		8,50		13,70		6,70	
pořadí		1.		3.		2.		4.	
další postup		ano		ne		ne		ne	

Vybranou vítěznou variantu konceptu, byla varianta Kolo 1 (ozubené kolo se šrouby a matkami s přímým ozubením). Jedná se o monoblok, který je popsán v kapitole 4.3.1. Pro tuto variantu a variantu počáteční byl zpracován grafický 3D

model v programech CATIA V5R18 a ProENGINEER, který byl importován do softwaru ANSYS WORKBENCH 11.0, kde byly varianty propočítány (uvedeno v kapitole 7.). Nejprve, než bylo k tomuto počítání a zároveň porovnání přistoupeno, proběhlo konstruování vítězného konceptu různými metodami.

5. METODY PRO DETAILNÍ KONSTRUOVÁNÍ – DFX /6/

Součástí inovačního procesu jsou samozřejmě i metody pro detailní konstruování, jejichž rozhodující část tvoří metody typu DFX (*Design for X*), kde X označuje oblast působení metod. Cílem DFX metod je vytvoření co možná nejefektivnějšího modelu popisujícího reálný produkční proces. Metody DFX jsou využívány zejména tvůrčími pracovníky v oblasti návrhu výrobku a jeho výroby.

Metody typu DXF řeší vztah navrhovaných strojních celků s ohledem na jednoduchost, snadnost a rychlost výroby, montáže, demontáže, udržovatelnosti apod. Konstrukční práce, stejně jako práce spojené s přípravou výroby a technologií, ve velké míře determinují, jak je produkt vyráběn a co bude stát jeho výroba. Je dokázáno, že náklady a cenu výrobku ovlivníme zejména konstrukčním řešením výrobku. Obecně platí úměra, že čím nižší náklady, tím větší reálná šance úspěchu v konkurenčním boji. Aby bylo dosaženo tohoto cíle, musí konstrukce výrobku a jednotlivé díly splňovat například tyto požadavky [2]:

- díly musí být snadno vyrobitelné
- díly lze levně koupit
- maximální počet dílů by měl být standardizován
- díly by měli jít namontovat „jednou rukou, slepým člověkem v boxerských rukavicích“
- díly by měly být bez náročně vyrobitelných tolerancí
- konstrukce by měla mít minimum spojů
- výrobek lze vyrobit s použitím minimálního počtu přípravků
- díly by měly umožnit přednastavení orientace
- díly by měly být asymetrické pro snadné vychystání
- díly by měly být snadno uchopitelné a vložitelné
- preference dílů z jednoho typu materiálů

- díly by měly být snadno demontovatelné
- díly by měly být snadno a ekologicky recyklovatelné

5.1 DFA /6/

Montáž výrobku je organizačně složitý a nákladný proces. K jeho zvládnutí je výhodné použít metodiku DFA (*Design for Assembly – návrh z hlediska montáže*) pro navrhování součástí s ohledem na jejich montáž).

Zásady DFA:

- snaha o vyjádření času montáže
- složitost montáže závisí na počtu kusů
- volby vhodného spoje
- odhad výrobní ceny
- velikost a tvar součástky (součástky snadno rozlišitelné)
- konstrukce z hlediska snadné montáže
- vliv změny tvaru na složitost montáže
- montážní moduly

Při tvorbě této metody se postupuje následnými kroky. Nejprve se díly rozdělí do dvou kategorií:

- kategorie „A“ podstatné díly v sestavě z hlediska funkce výrobku,
- kategorie „B“ díly nepodstatné, ale nezbytně nutné ke kompletaci současného návrhu výrobku.

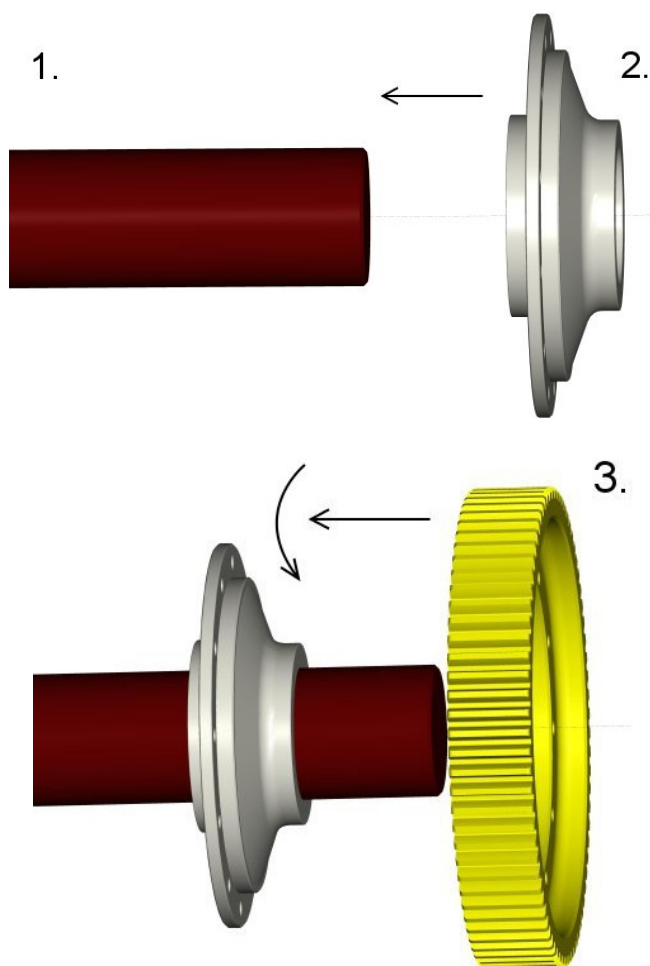
Efektivnost vzniku sestavy je potom vyjádřena poměrem počtu dílů „A“ k součtu všech dílů v sestavě. Doporučená efektivnost návrhu sestavy je 60%. Dále je náročnost montáže vyjádřena poměrem pomocných a připravovaných operací potřebných k složení sestavy. Složitost přípravy dílu k montáži se ohodnotí koeficientem. A zapíše do sloupce montážní analýza. Hodnota se pohybuje od 1.0 u součástí, které se před montáží neupravují, například nedeformují, neorientují, až do 2.0 u součástí, které se musí před montáží modifikovat, například stlačit, předeprnout atd. Poměr pomocných operací se vypočítá jako podíl součtu jednotlivých pomocných operací ku počtu dílů kategorie „A“. Složitost montážních operací je vyjádřena množstvím operací uchopení,

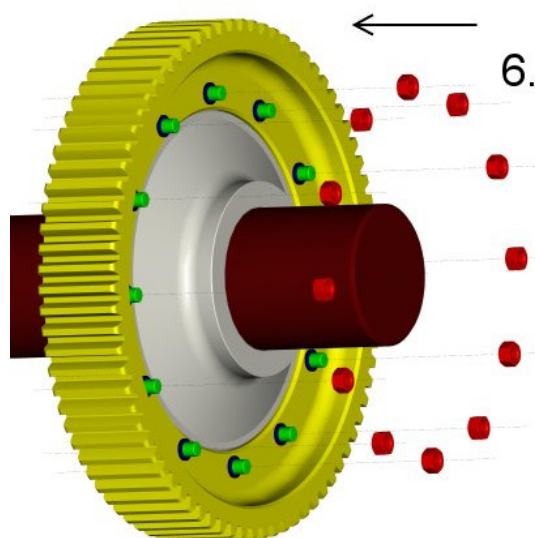
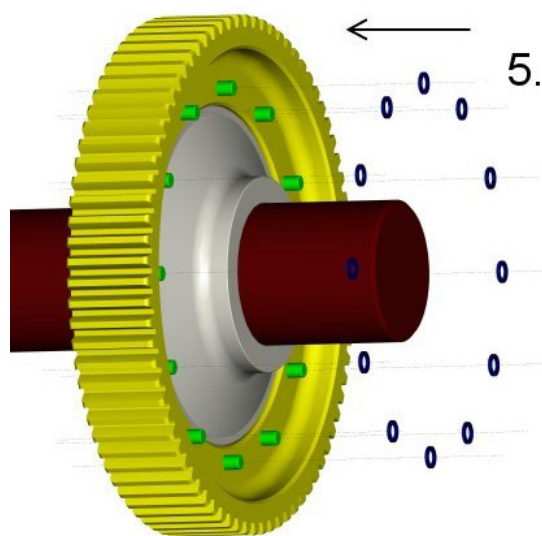
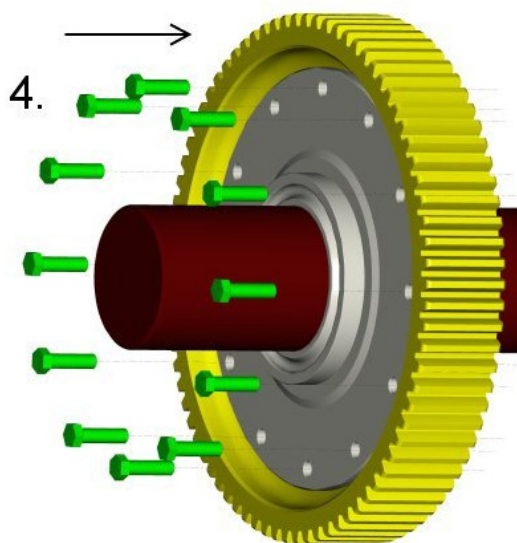
ukládání, držení a procesů nepodporujících sestavení při montáži sestavy. Každá operace je ohodnocena body. Proces pouhého vložení je ohodnocena jedním bodem, utahování matice šroubu je ohodnoceno čtyřmi body. Poměr spojovacích operací je potom vyjádřen podílem součtu všech bodů ze spojovacích operací ku počtu dílů kategorie „A“.

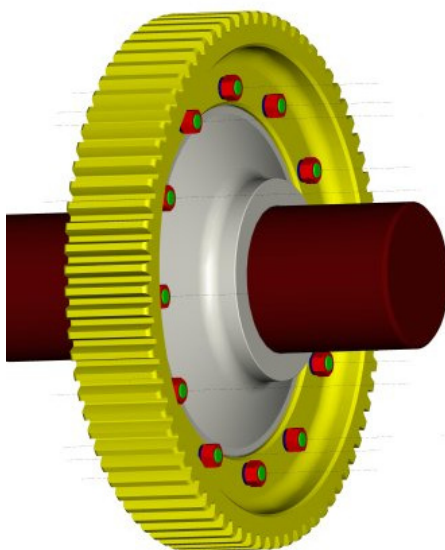
$$\frac{\text{"A"komponenty}}{\sum \text{komponent}} = \frac{3}{39} \times 100\% = 7,7\%$$

$$\frac{\text{suma}}{\text{"A"komponenty}} = \frac{43,6}{3} = 14,53$$

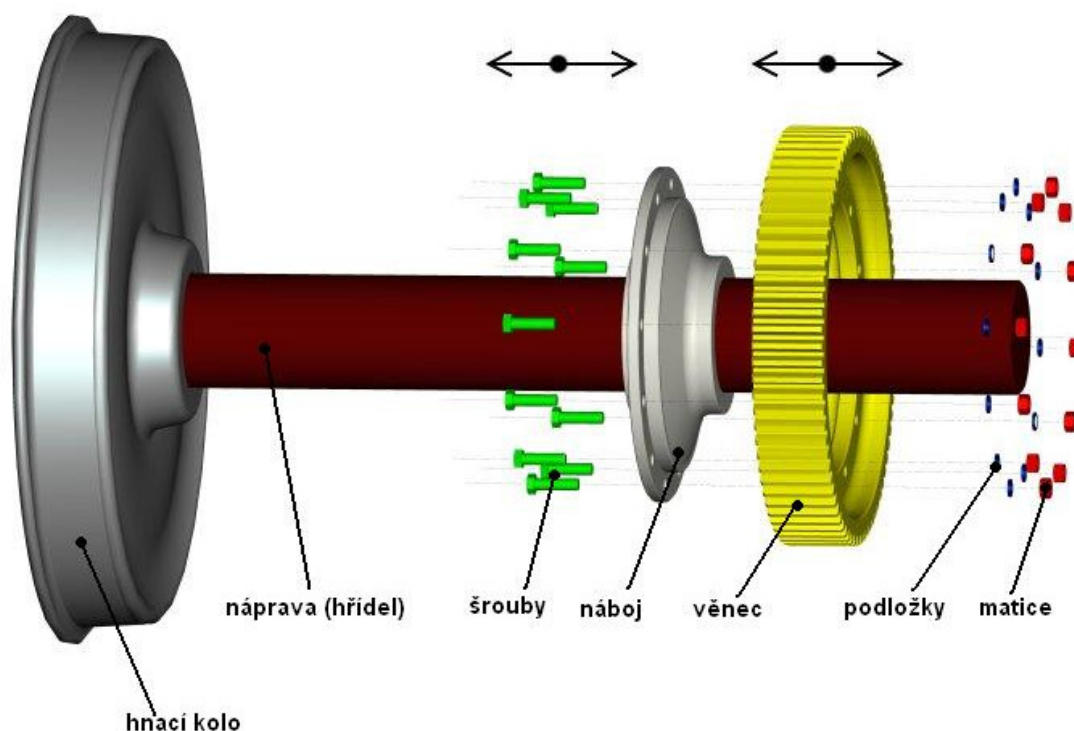
$$\frac{\sum \text{spoj.operací}}{\text{"A"komponenty}} = \frac{82,3}{3} = 27,43$$







Obr. 14.: Schéma sestavení monobloku ozubeného kola



Obr. 15.: Schéma rozpadu monobloku ozubeného kola

- ✓ Úkolem bylo vymyslet, navrhnout a zkonstruovat takové řešení, při kterém nebude docházet k poškození nápravy lokomotivy při výměně ozubeného věnce. Byla tedy navržena varianta, která tomuto jevu zabráňuje. Jedná se o

monoblok složený z náboje, ozubeného věnce, šroubů, podložek a matic. Rozměry byly navrženy podle požadavků firmy Wikov MGI.

Postup při montáži ozubeného kola (uvažujeme-li montáž při výměně ozubeného věnce):

Na hřídel s označením 1., neboli nápravu lokomotivy nalisujeme náboj 2. do polohy dle daných firemních požadavků. Dále na náboj nasuneme ozubený věnec 3. a pootočíme jej do polohy takové, aby se díry v náboji shodovaly s dírami ve věnci. Poté do otvorů zasuneme šrouby 4. Počet šroubů je stejný jako počet děr, tedy dvanáct. Na šrouby navlékneme podložky 5. pak zašroubujeme maticemi 6 na požadovaný utahovací moment M_u firmou Wikov MGI. Počet podložek a matic je opět shodný s počtem děr.

5.2 DFM /6/

Dodržování principů metody DFM (*Design for Manufacturing*) lze dosáhnout nízkých výrobních nákladů. Mezi tyto principy patří [2]:

- **Jednoduchost.** Výrobek s malým počtem jednoduchých dílů s krátkou výrobní frekvencí bude cenově výhodný. Takovýto výrobek má snadný servis. Nepoužíváme komplikované a nepřehledné tvary.
- **Standardní materiály a komponenty.** Z hlediska výroby je vhodné používat materiály s komponentami s širokým uplatněním, na které je příslušný výrobní potenciál. Je dobré používat standardní polotovary snadno objednatelné s krátkými časovými termíny dodání.
- **Standardizovaný návrh konstrukce výrobku.** V případě, že se vyrábí několik druhů (typů) výrobků, je vhodné v návrhu těchto výrobků použít pro různé typové řady výrobků stejné komponenty, čímž lze ušetřit na nákladech na měření a testování dílů ve výrobě.
- **Volné tolerování.** Volné tolerování je v podstatě název pro netolerované rozměry. I netolerované rozměry se však musí vyrábět v dané toleranci příslušné normy. Čím vyšší přesnost rozměrů dílů bude předepsána na výkrese, tím vyšší bude cena ve výrobě. Požadované rozměrové přesnosti

musí odpovídat i jakosti povrchu a hodnoty geometrických tolerancí. Stupeň přesnosti rozměrové tolerance je svázán s jakostí povrchu a geometrickými úchytkami i s cenou.

- ✓ Při navrhování monobloku ozubeného kola byla snaha o jeho jednoduchost z hlediska výroby. Materiály a komponenty byly navrženy ze standardních materiálů, které firma požaduje. Veškeré přesnosti rozměrů dílů na výkrese jsou navrženy tak, jak firma požaduje pro funkčnost.

5.3 DFD /6/

Metoda DFD (Design for Disassembly) je zaměřena na to, aby se na konci životního cyklu mohly díly snadno demontovat, separovat a dále zpracovávat resp. recyklovat. Mezi základní požadavky metody DFD na konstrukci patří:

- zajistit snadné oddělení dílů bez jejich zničení
 - zajistit snadné vyčištění bez negativního vlivu na životní prostředí
 - zajistit snadnou repasi doplněním opotřebeného materiálu
 - zajistit snadné testování repasovaných dílů
 - zajistit snadnou zpětnou montáž repasovaných dílů do sestavy
 - použití rozebíratelných, oddělitelných, snadno repasovatelných nebo recyklovatelných materiálů
 - konstruovat výrobky s rozebíratelnými spoji
-
- ✓ Při navrhování monobloku ozubeného kola byla snaha o zajištění snadného oddělení náboje od věnce bez jejich zničení. Dále bylo touto metodou docíleno snadné zpětné montáži dílů s pomocí rozebíratelných spojů, pro zajištění monobloku ozubeného kola (náboje a věnce) viz obr. 15.

6. ANALÝZA POMOCÍ SOFTWARE ANSYS WORKBENCH 11.0

Ansyes Workbench je profesionální software pro řešení problémů z oblasti mechaniky, elektromagnetizmu, tepla, akustiky a jejich kombinací ve 2D a 3D. V programu Ansyes Workbench lze řešit lineární i nelineární úlohy. Výsledky úloh z jednotlivých fyzikálních směrů lze přenášet do jiných fyzikálních směrů (např. výsledky z elektromagnetizmu do mechaniky a podobně). Tento software umožňuje nejen provádět kontrolní výpočty, ale i na základě kontrolních výpočtů následně výpočty optimalizovat. Ansyes Workbench, představuje uživatelské prostředí zavedené v programech Ansyes Workbench od verze 7.0. Import geometrie modelu, generace sítě, jednoduché ovládání a možnost provádění kontrolních výpočtů, nebo optimalizačních analýz s využitím klasického Ansyes Workbench jsou základními znaky tohoto prostředí.

Pro analýzu jednotlivých součástí nebo sestav je nutno převést požadovaný model do univerzálního formátu pro následné načtení ve výpočtovém softwaru. Načtení souboru se provádí příkazem File – Open. Nejprve je nutné vytvořit konečněprvkovou síť, která bude akceptovatelná jak z hlediska přesnosti vypočtených hodnot, tak z hlediska dostupného hardware. Dále je nutné nadefinovat materiál (Geometry) s jeho vlastnostmi a vazbami mezi jednotlivými součástmi (Connections). Okrajové podmínky výpočtu byly zadány tak, aby dostatečně přesně popisovali zatížení a uložení ozubeného kola s ohledem na analyzovaný zatěžující stav. V posledním kroku bylo zadáno nastavení výpočtové funkce a následně zpuštěn výpočet, vyvolaný funkcí (Solution).

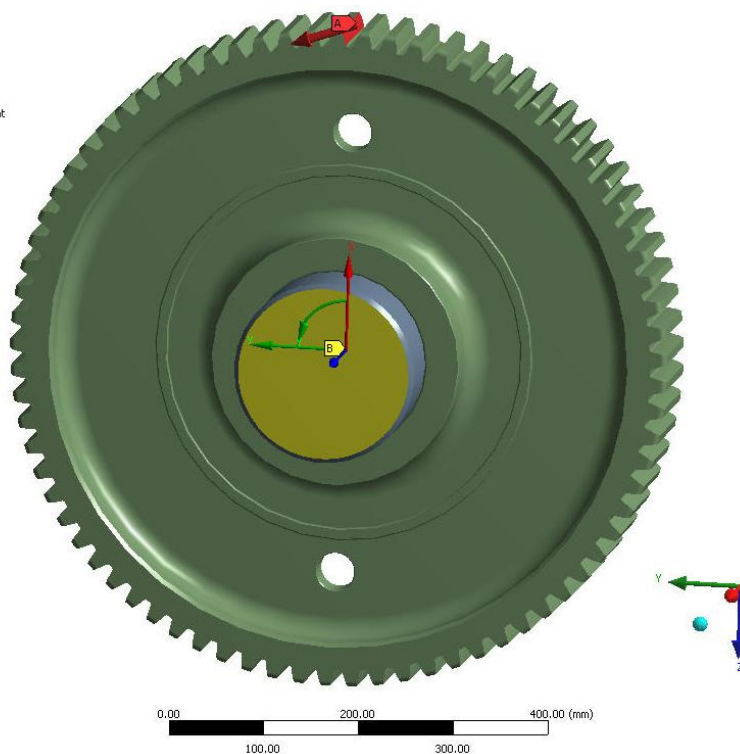
6.1 Kolo 0 – původní kolo

Ozubené kolo s označením 0, je kolo původní. Původní kolo je vyráběné z materiálu 14341 (mez kluzu v tahu $Re \approx 700$ MPa). Zatížení ozubeného kola je znázorněno na obr. 16 a obr. 17. Vytvořená síť na modelu je znázorněna na obr. 18. Ozubené kolo je nalisované na hřídeli (nápravě), která prochází středem ozubeného kola. Na věnec ozubeného kola byly nadefinovány dva zatěžující stavy. Tyto zatěžující stavy (viz obr. 16 a obr. 17) simulují zatížení od pastorku trakčního motoru. Volba dvou zatěžujících stavů sloužila pouze pro porovnání vypočtených

hodnot obou zatěžujících stavů. Výsledné hodnoty obou zatěžujících stavů byly téměř shodné, a proto se dále uvádějí pouze výsledky z jednoho zatěžujícího stavu. Velikost zatěžující síly je navolena podle výpočtu z kroutícího momentu M_k , který byl zadán.

FE model byl vytvořen v softwaru Ansys Workbench na základě dříve vytvořeného CAD modelu. Tento model byl vytvořen v softwaru Pro/ENGINEER a následně uložen do univerzálního formátu.

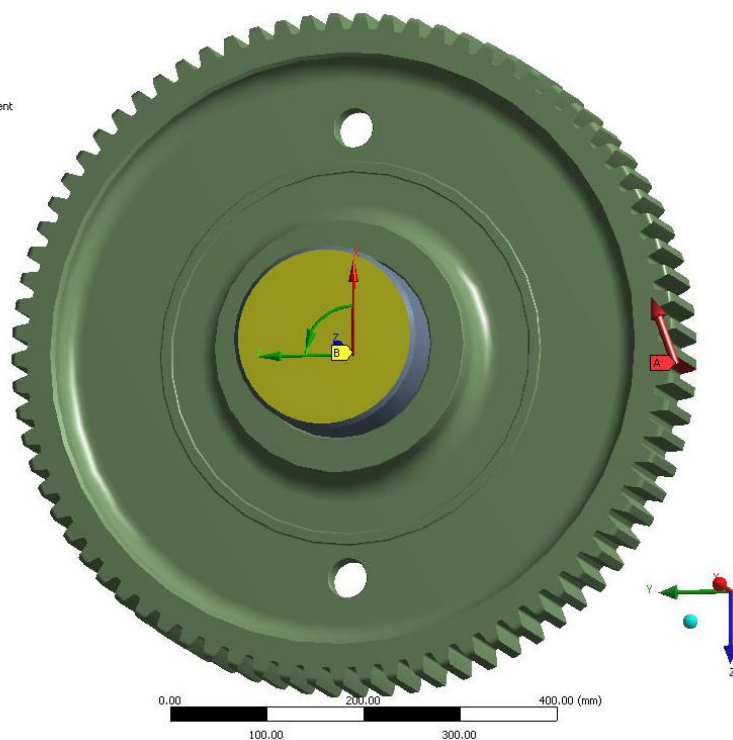
Static Structural
Time: 2, s
19.5.2009 16:40
A Force: 76338 N
B Remote Displacement



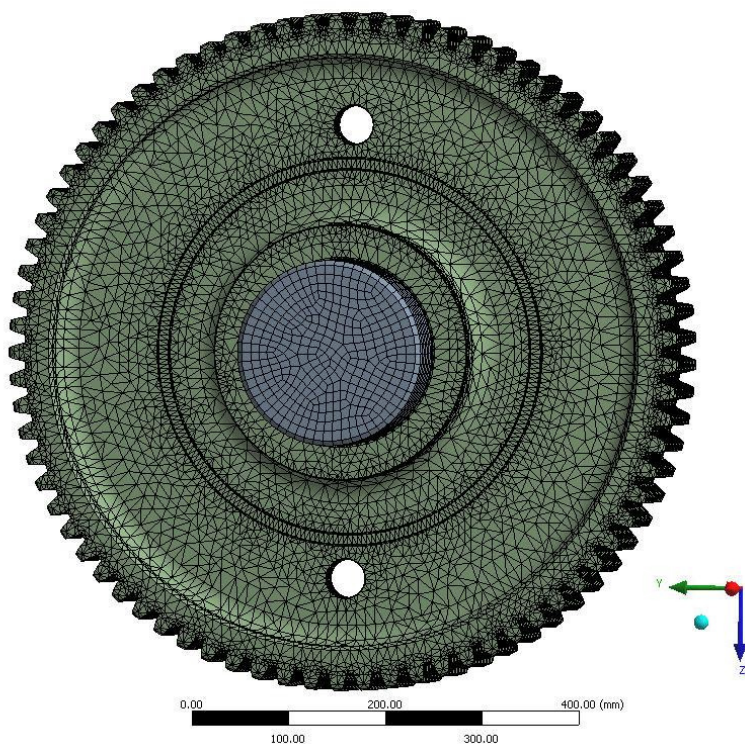
Obr. 16.: První zatěžující stav

Static Structural 2
Time: 1,0281 s
19.5.2009 16:42

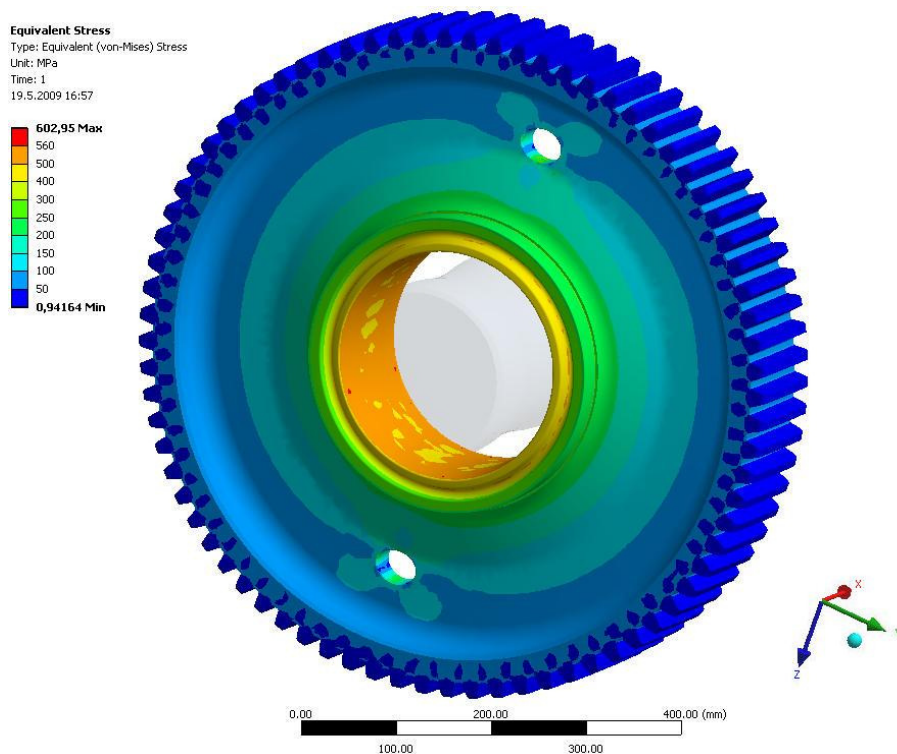
A Force: 2144,3 N
B Remote Displacement



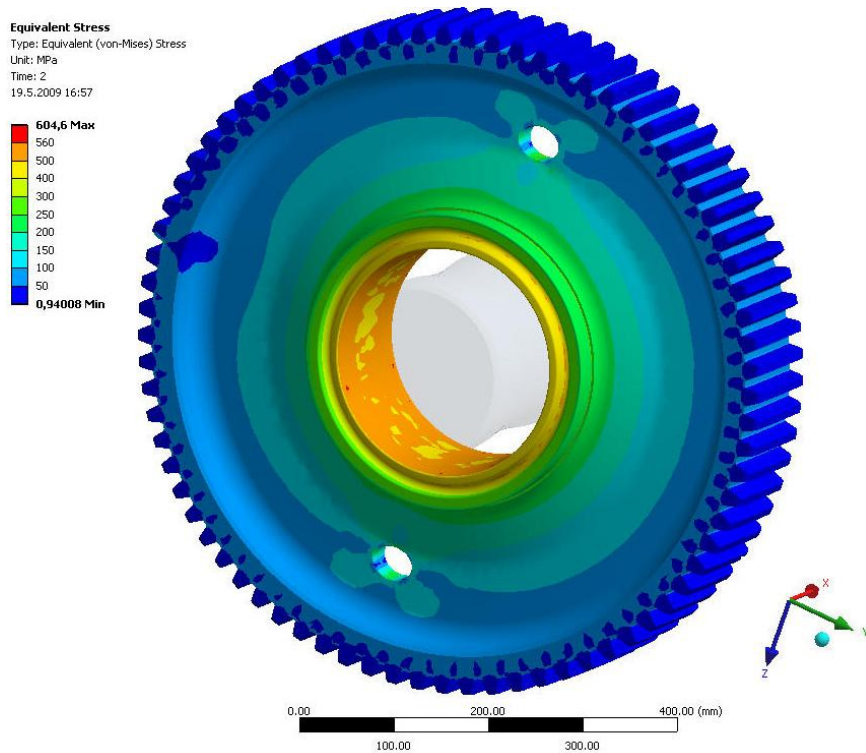
Obr. 17.: Druhý zatěžující stav



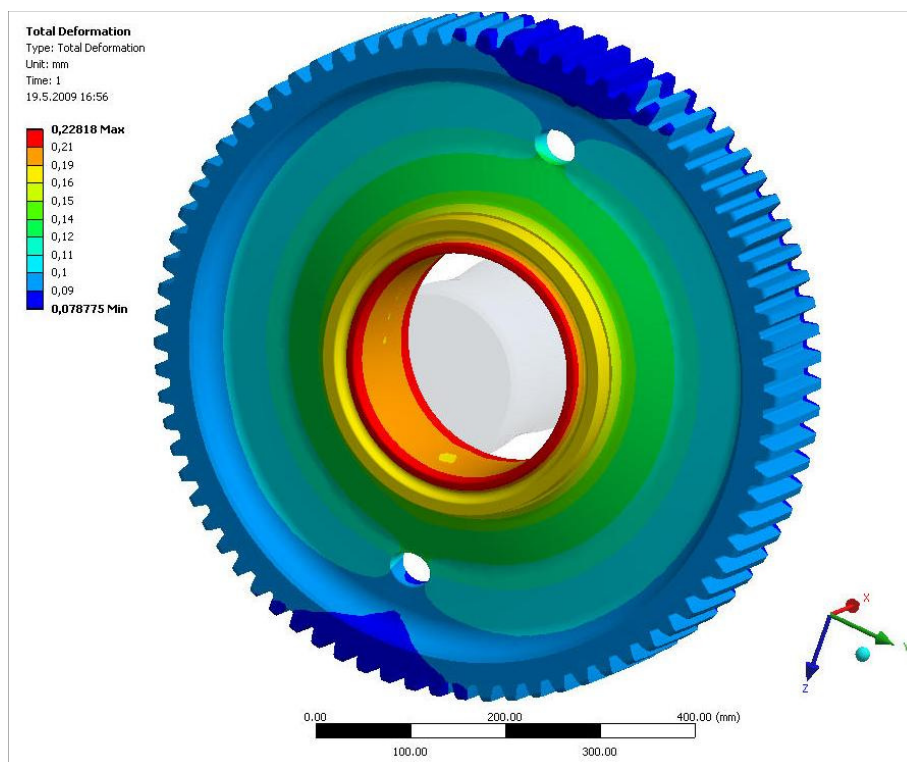
Obr. 18.: Vygenerovaná síť na ozubeném kole



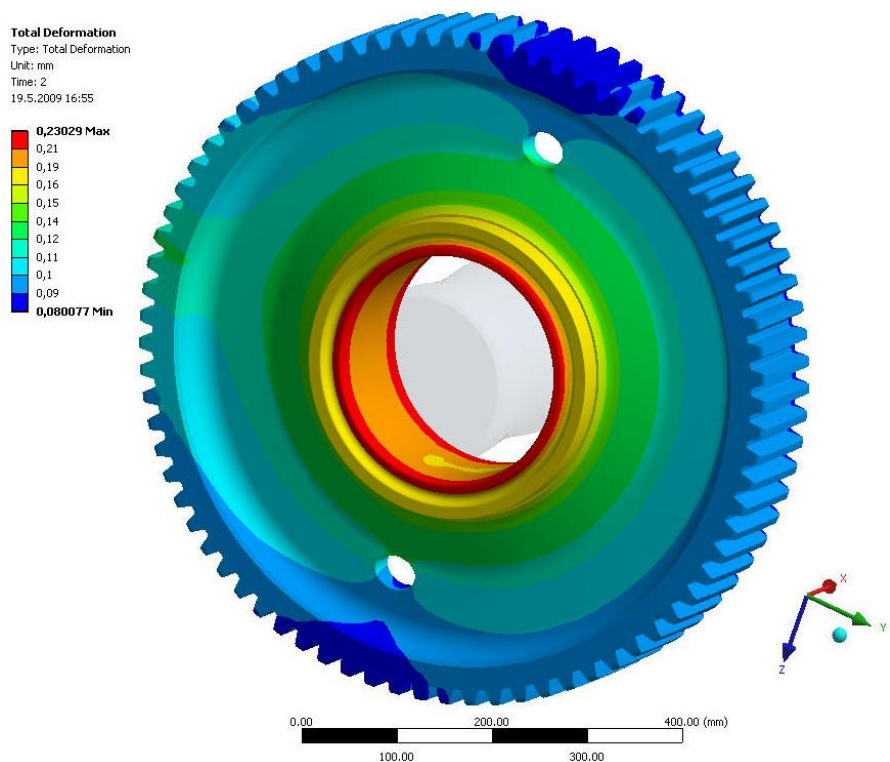
Obr. 19.: Ekvivalentní napětí – lisování



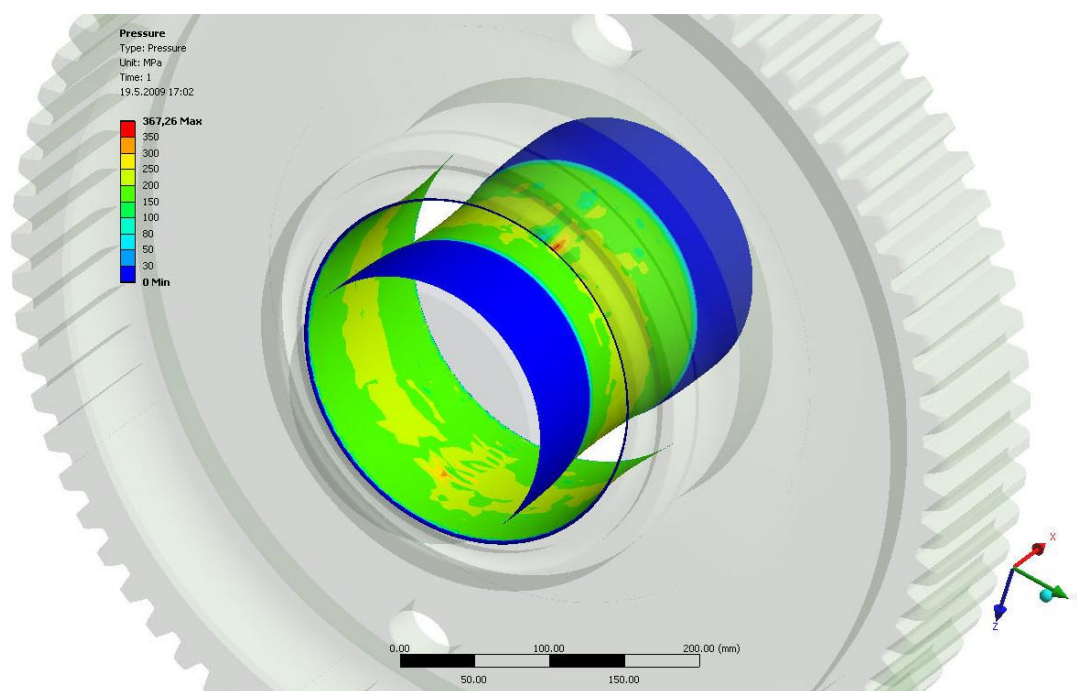
Obr. 20.: Ekvivalentní napětí – zatížení



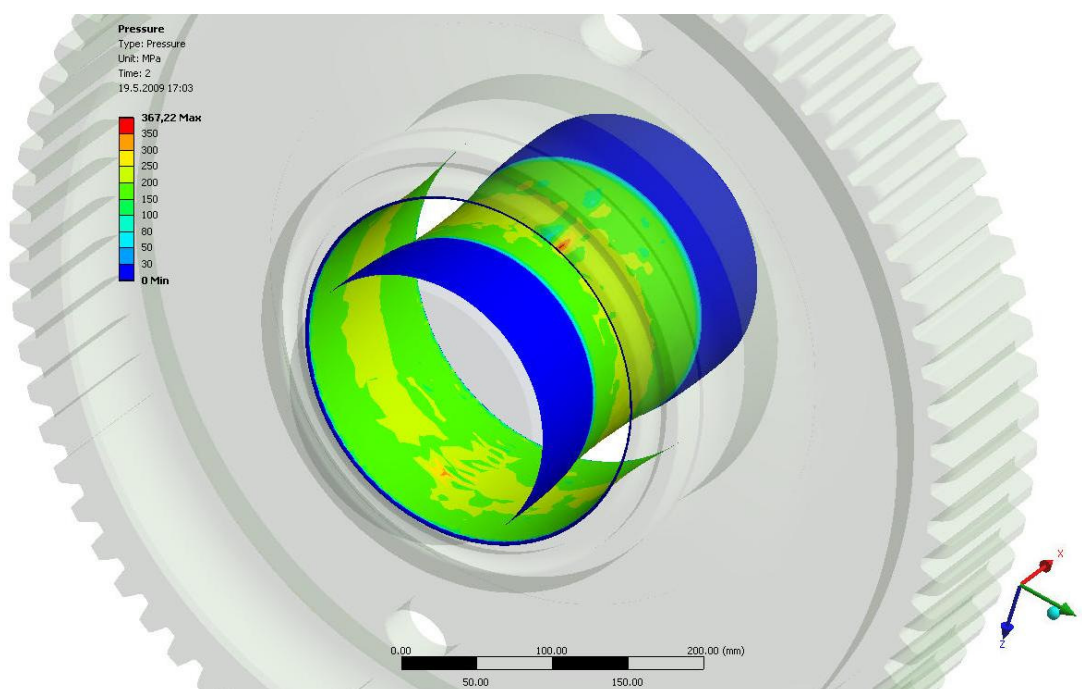
Obr. 21.: Totální deformace – lisování



Obr. 22.: Totální deformace – zatížení



Obr. 23.: Tlak – lisování



Obr. 24.: Tlak – zatížení

6.2 Kolo 1 – se šrouby a matkami – přímé ozubení

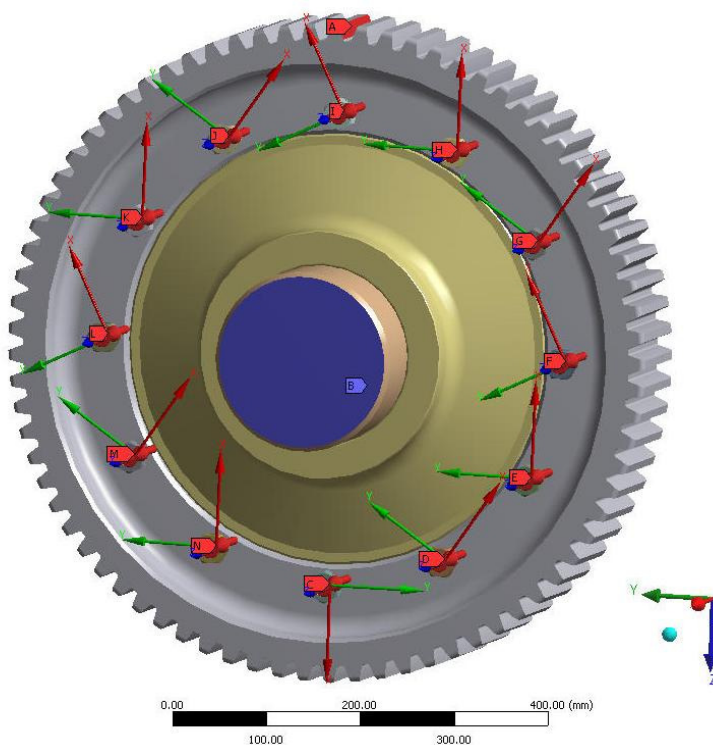
Ozubené kolo s označením 1 je kolo modifikované se šrouby a matkami. Toto kolo se skládá z věnce a náboje. Tyto dvě části jsou spojeny k sobě pomocí šroubů, podložek a matek (po dvanácti kusech). Věnc ozubeného kola byl navolen z materiálu 16 326 (mez kluzu v tahu $Re \approx 600$ MPa) po konzultaci s firmou Wikov MGI. Svůj požadovaný materiál má i náboj ozubeného kola, který je 11 503 (mez kluzu v tahu $Re \approx 300$ MPa). Tento materiál byl opět nadefinován po konzultaci s firmou Wikov MGI. Ozubené kolo je nalisované na hřídeli (nápravě), která prochází středem ozubeného kola. Na věnc ozubeného kola byly nadefinovány, stejně jako v předchozím výpočtu (Kolo 0), dva zatěžující stavy. Tyto zatěžující stavy (viz obr. 25 a obr. 26) simulují zatížení od pastorku trakčního motoru. Volba dvou zatěžujících stavů sloužila pouze pro porovnání vypočtených hodnot obou zatěžujících stavů. Výsledné hodnoty obou zatěžujících stavů byly téměř shodné, a proto se dále uvádějí pouze výsledky z jednoho zatěžujícího stavu. Velikost zatěžující síly je navolena podle výpočtu z kroutícího momentu M_k , který byl zadán. Na utažení šroubů byla použita funkce „Bolt Pretension“, s nadefinováním síly ve šroubu po utažení. Tato síla byla navolena pro mez kluzu Re šroubu.

FE model byl vytvořen v softwaru Ansys Workbench na základě dříve vytvořeného CAD modelu. Tento model byl vytvořen v softwaru Pro/ENGINEER a následně uložen do univerzálního formátu.

Static Structural

Time: 0, s
Items: 10 of 14 indicated
19.5.2009 17:10

- A Force: 0, N
- B Fixed Support
- C Bolt Pretension: Open
- D Bolt Pretension 2: Open
- E Bolt Pretension 3: Open
- F Bolt Pretension 4: Open
- G Bolt Pretension 5: Open
- H Bolt Pretension 6: Open
- I Bolt Pretension 7: Open
- J Bolt Pretension 8: Open

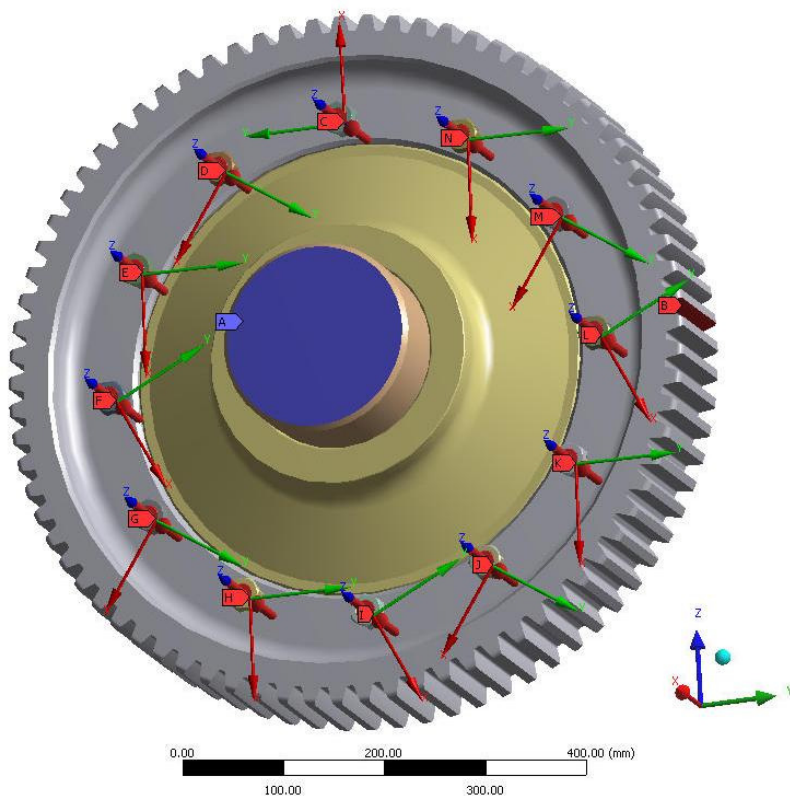


Obr. 25.: První zatěžující stav

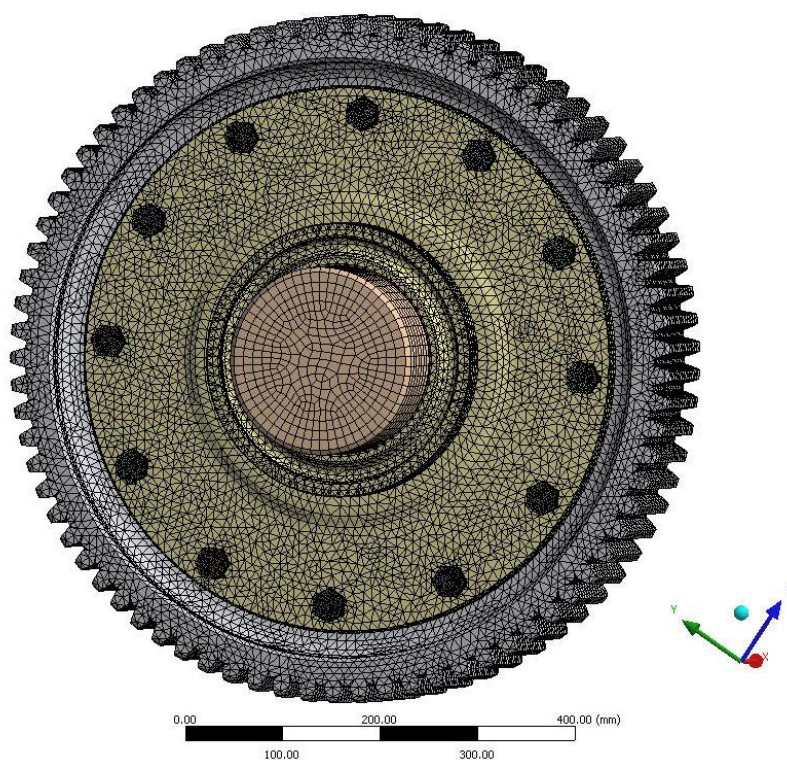
Static Structural 2

Time: 1, s
Items: 10 of 14 indicated
19.5.2009 17:11

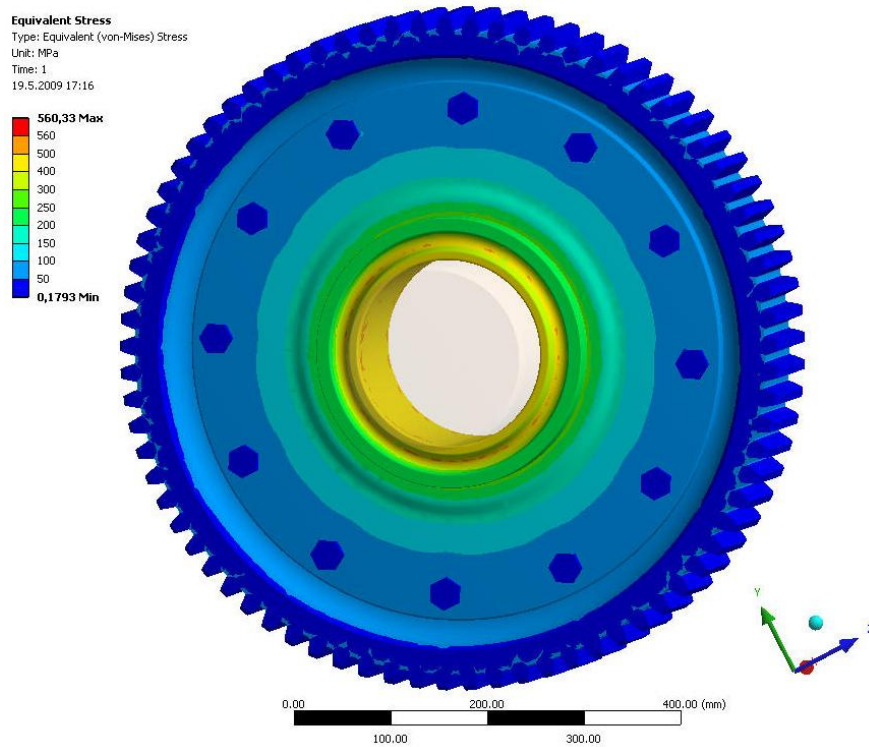
- A Fixed Support
- B Force: 0, N
- C Bolt Pretension: Open
- D Bolt Pretension 2: Open
- E Bolt Pretension 3: Open
- F Bolt Pretension 4: Open
- G Bolt Pretension 5: Open
- H Bolt Pretension 6: Open
- I Bolt Pretension 7: Open
- J Bolt Pretension 8: Open



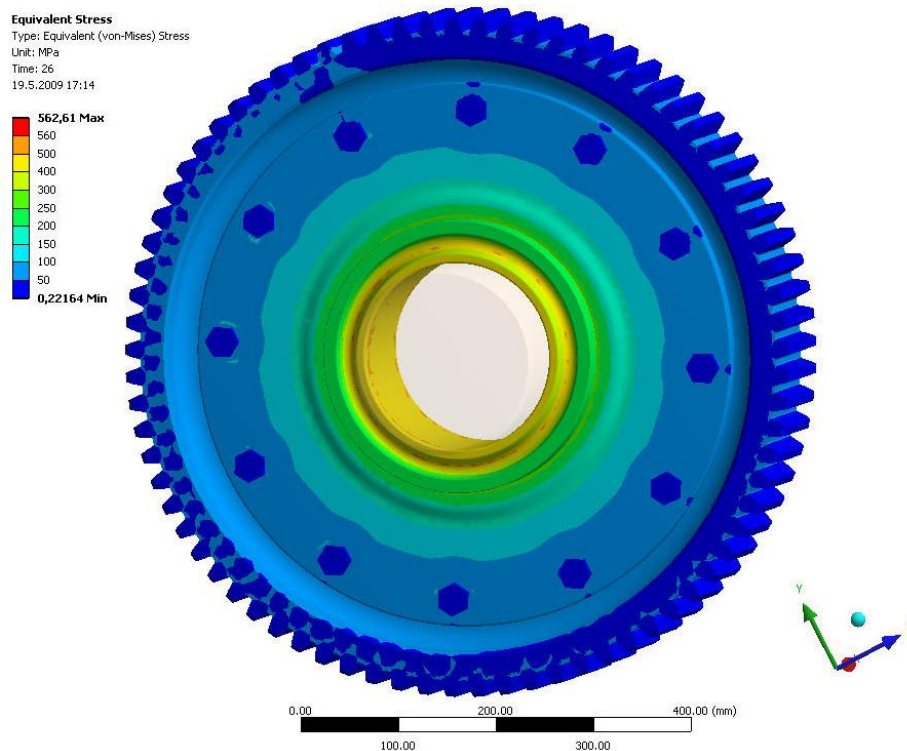
Obr. 26.: Druhý zatěžující stav



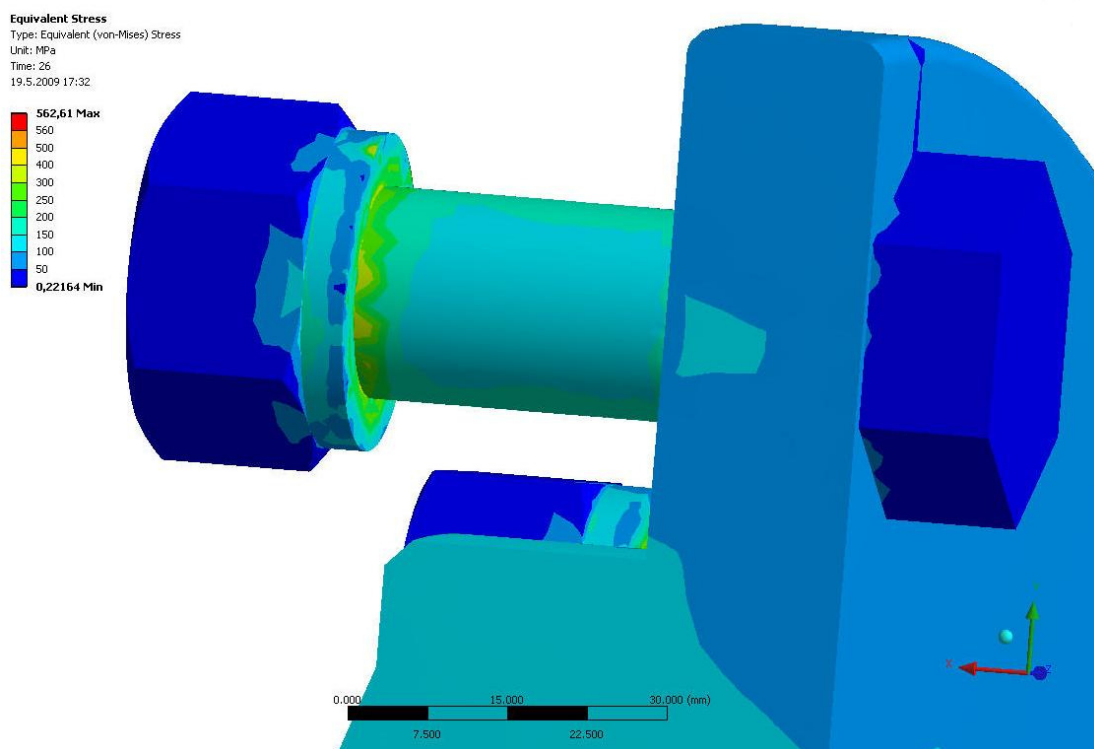
Obr. 27.: Vygenerovaná síť na monobloku ozubeného kola



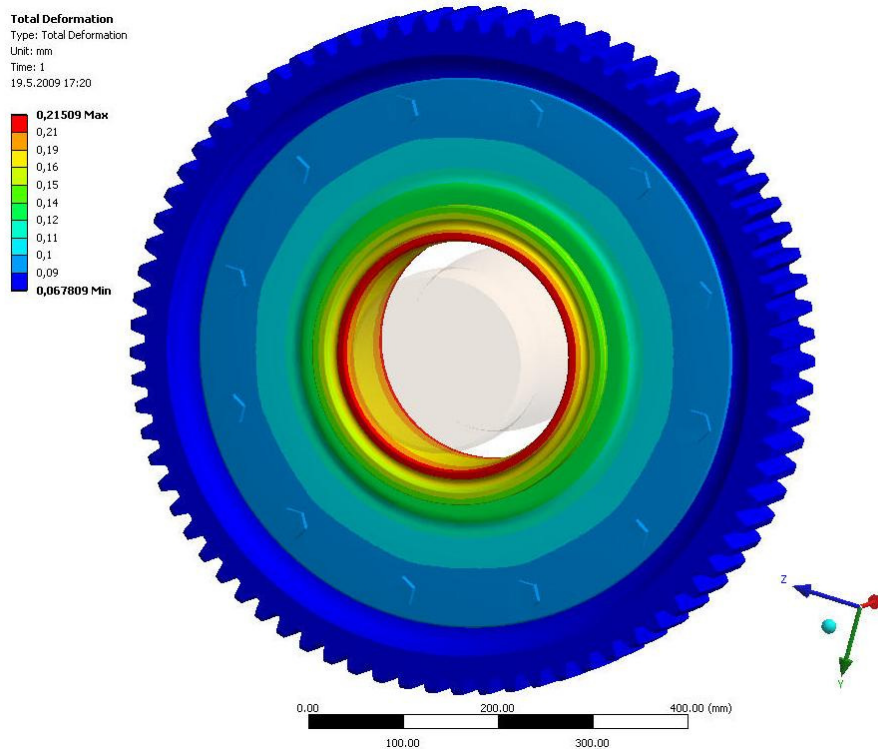
Obr. 28.: Ekvivalentní napětí – lisování



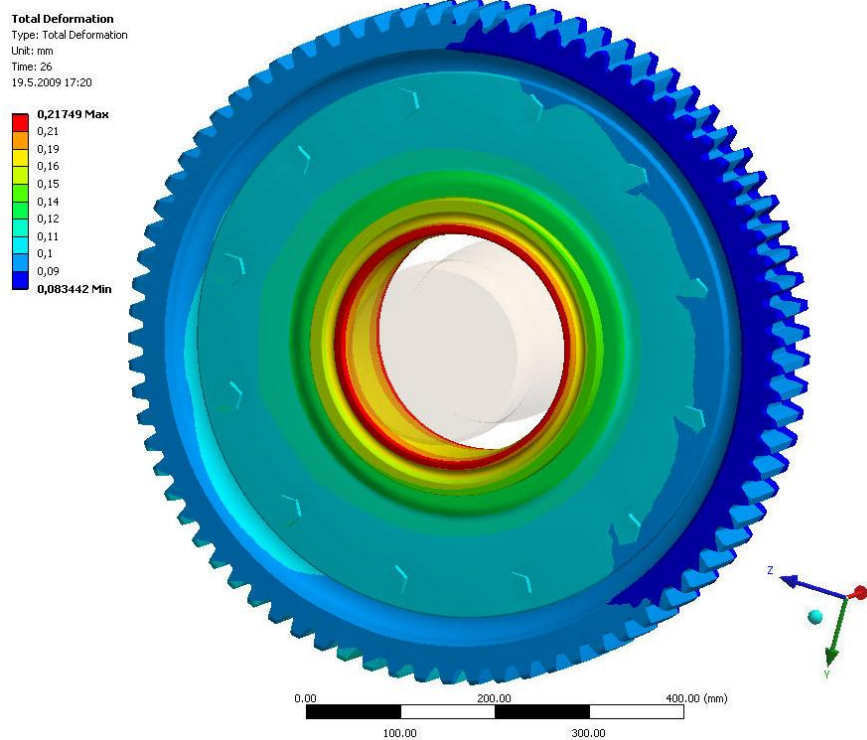
Obr. 29.: Ekvivalentní napětí – zatížení



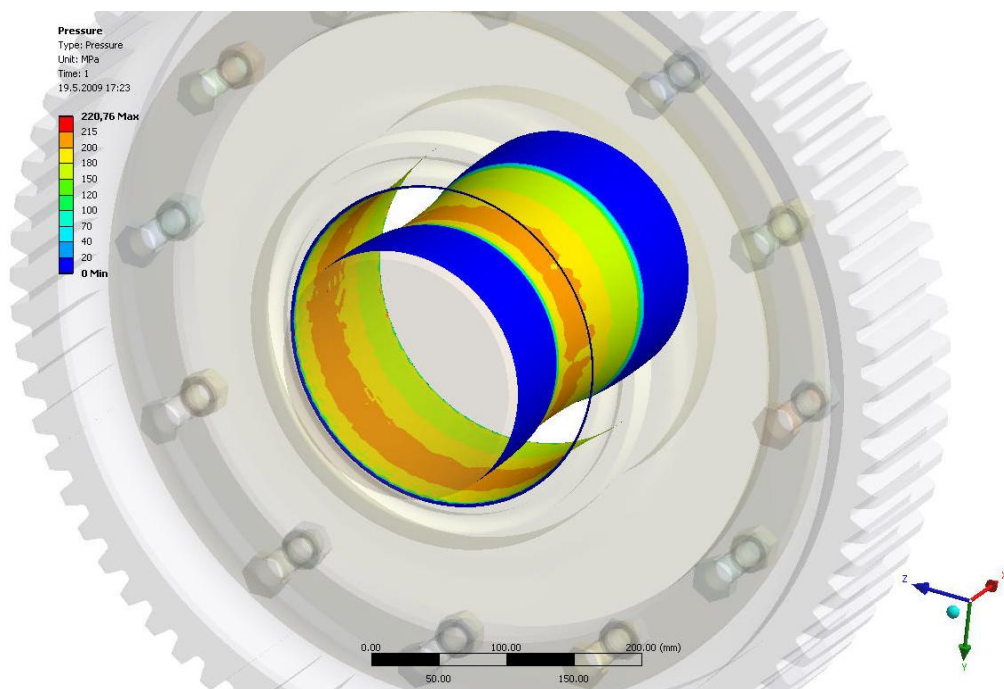
Obr. 30.: Ekvivalentní napětí – zatížení



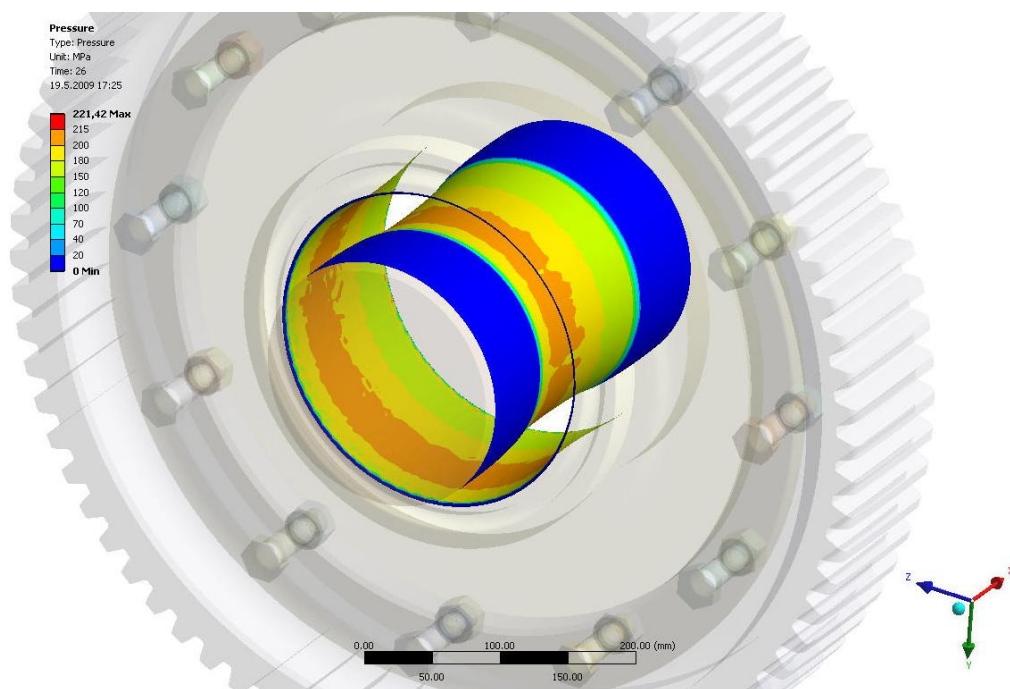
Obr. 31.: Totální deformace – lisování



Obr. 32.: Totální deformace – zatížení



Obr. 33.: Tlak – lisování



Obr. 34.: Tlak – zatížení

7. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Pro lepší přehlednost je vyhodnocení výsledků obou ozubených kol z předchozí kapitoly uvedeno v kapitole 7.1.

7.1 Porovnání obou ozubených kol

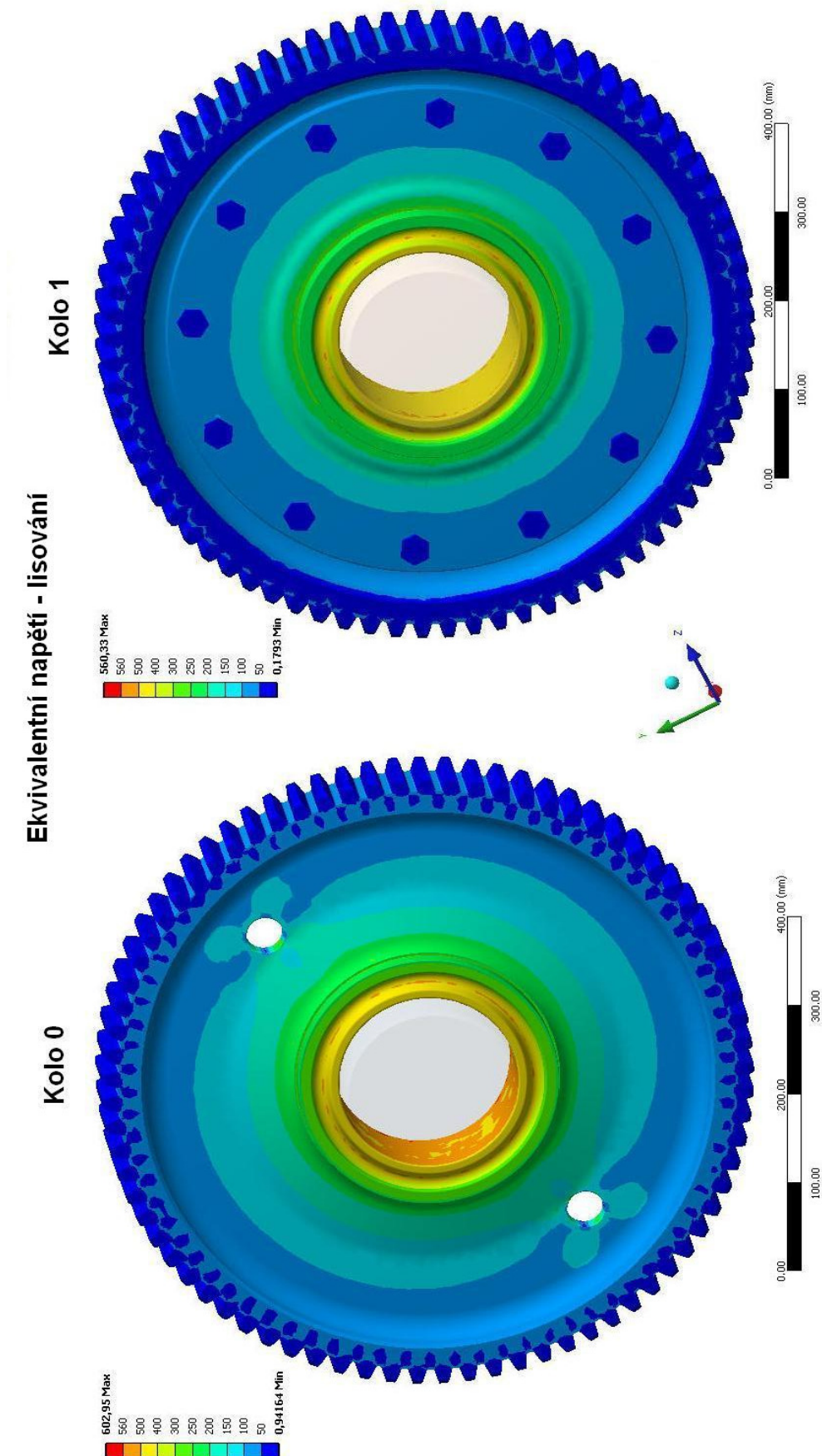
Na obr. 35 až obr. 40 je provedeno vzájemné porovnání obou počítaných ozubených kol.

Z vypočtených výsledků pro hodnocená ozubená kola lze konstatovat následující:

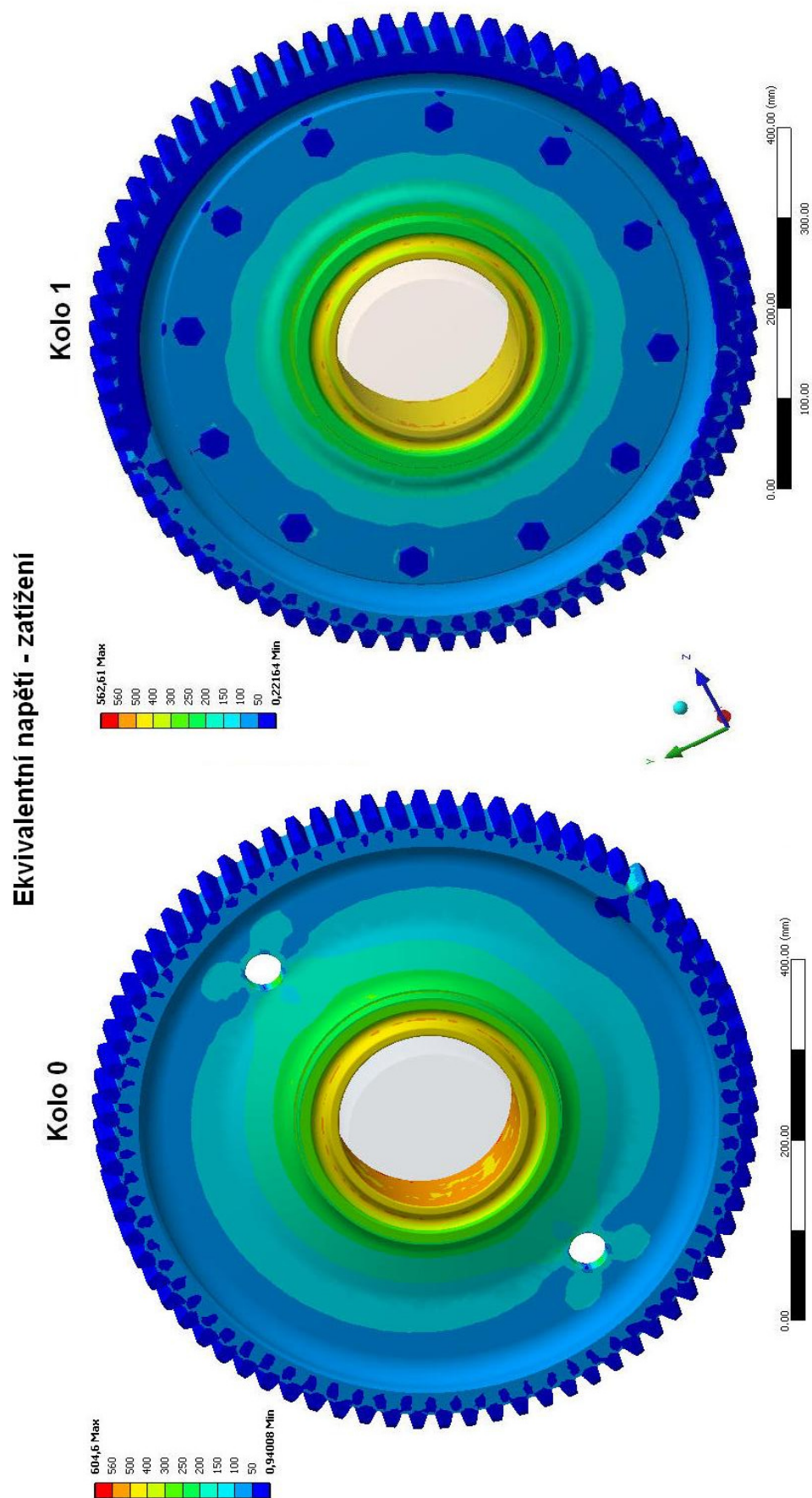
- Inovované ozubené kolo (Kolo 1) pro ekvivalentní napětí při lisování je tužší než původní ozubené kolo. Toto je patrné z barevného rozlišení na obr. 35. Největší plochu na modelech zaujímá modrý odstín, pro který odpovídá hodnota do 200MPa. Tato hodnota při porovnání s hodnotami mezí kluzů R_e pro příslušné materiály je zanedbatelná. Okolí otvoru přechází do odstínu zeleného, který značí hodnotu napětí do 300MPa. Střed otvoru ozubených kol je zabarven žlutou barvou u Kola 1, což znázorňuje napětí do 500MPa a žlutou až oranžovou barvou u Kola 0, která značí hodnotu do 560MPa. Inovované kolo je i pro stav ekvivalentního napětí při zatížení tužší než kolo původní viz obr. 36. Tento stav značí zatížení ozubených kol od síly, která simuluje zatížení od pastorku trakčního motoru. Barevné odstupňování je téměř totožné s původním ekvivalentním napětím pro lisování.
- Pro totální deformaci při lisování i zatížení je opět tužší model inovovaného ozubeného kola. Toto srovnání je patrné z obr. 37 a obr. 38.
- Výpočet tlaku mezi hřídelí (nápravou) a ozubeným kolem byl proveden pro stav maximálního průměru hřídele (nápravy) a minimálního průměru díry ozubeného kola při toleranci H6/u6. Vypočtené hodnoty obou ozubených kol tlaku při lisování jsou rozdílné. Hodnota tlaku na původním ozubeném kole (Kolo 0) je cca 300MPa a tlak na inovovaném kole (Kolo 1) je cca 215MPa viz obr. 39. Hodnota na kole 1 je menší právě proto, že se jedná o monoblok složený z náboje a věnce. Tento náboj je samostatně nalisován na hřídel (nápravu) a jeho rozměr je menší o hodnotu věnce. Jeho rozměr je menší než rozměr Kola 0, které se lisuje celé. Tyto výpočty jsou ověřeny v kapitole 7.2.



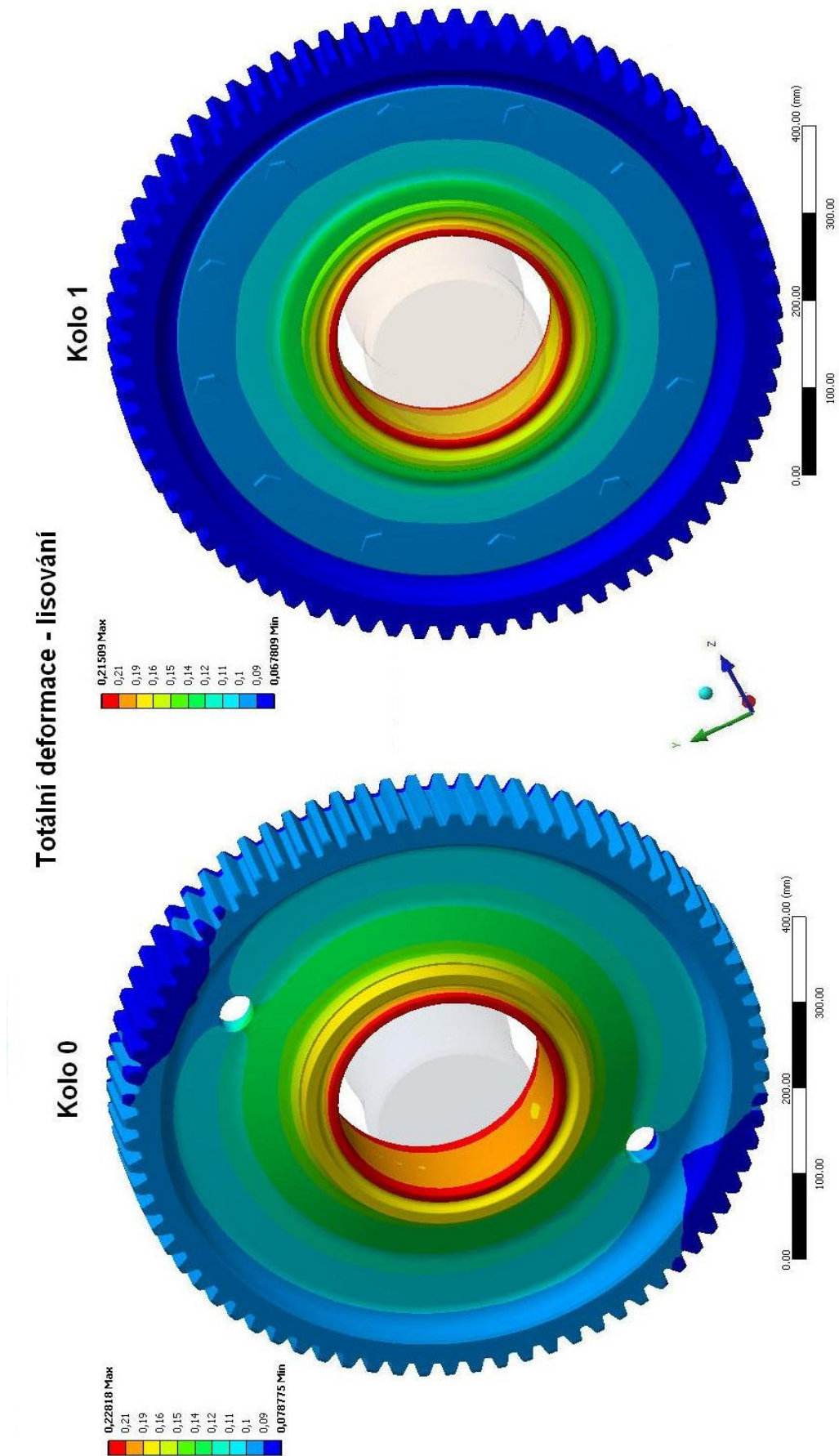
Hodnoty tlaku po zatížení ozubených kol silou se změní jen částečně viz obr. 40 porovnáním s předchozím stavem.



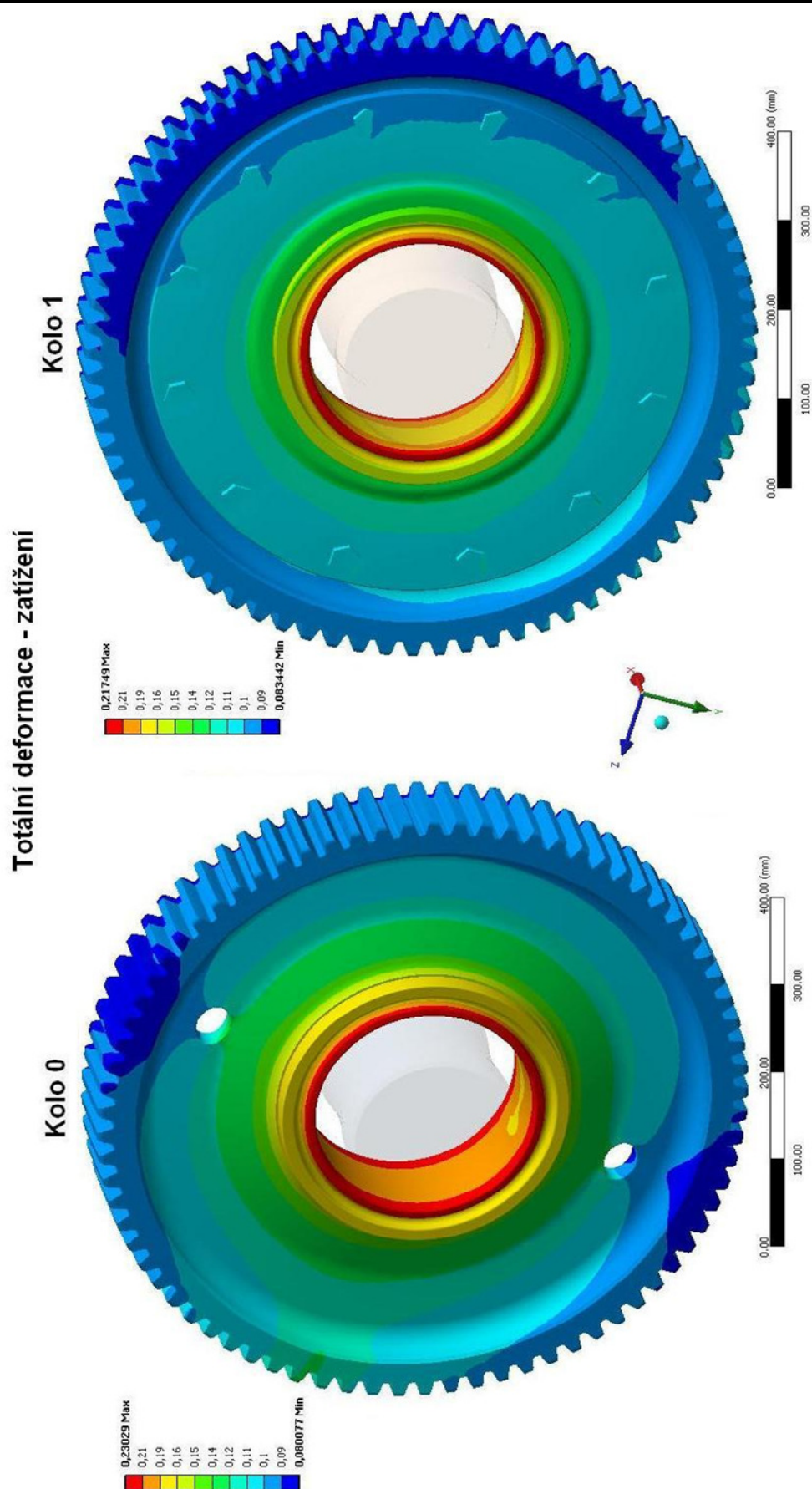
Obr. 35.: Ekvivalentní napětí pro obě ozubená kola – lisování



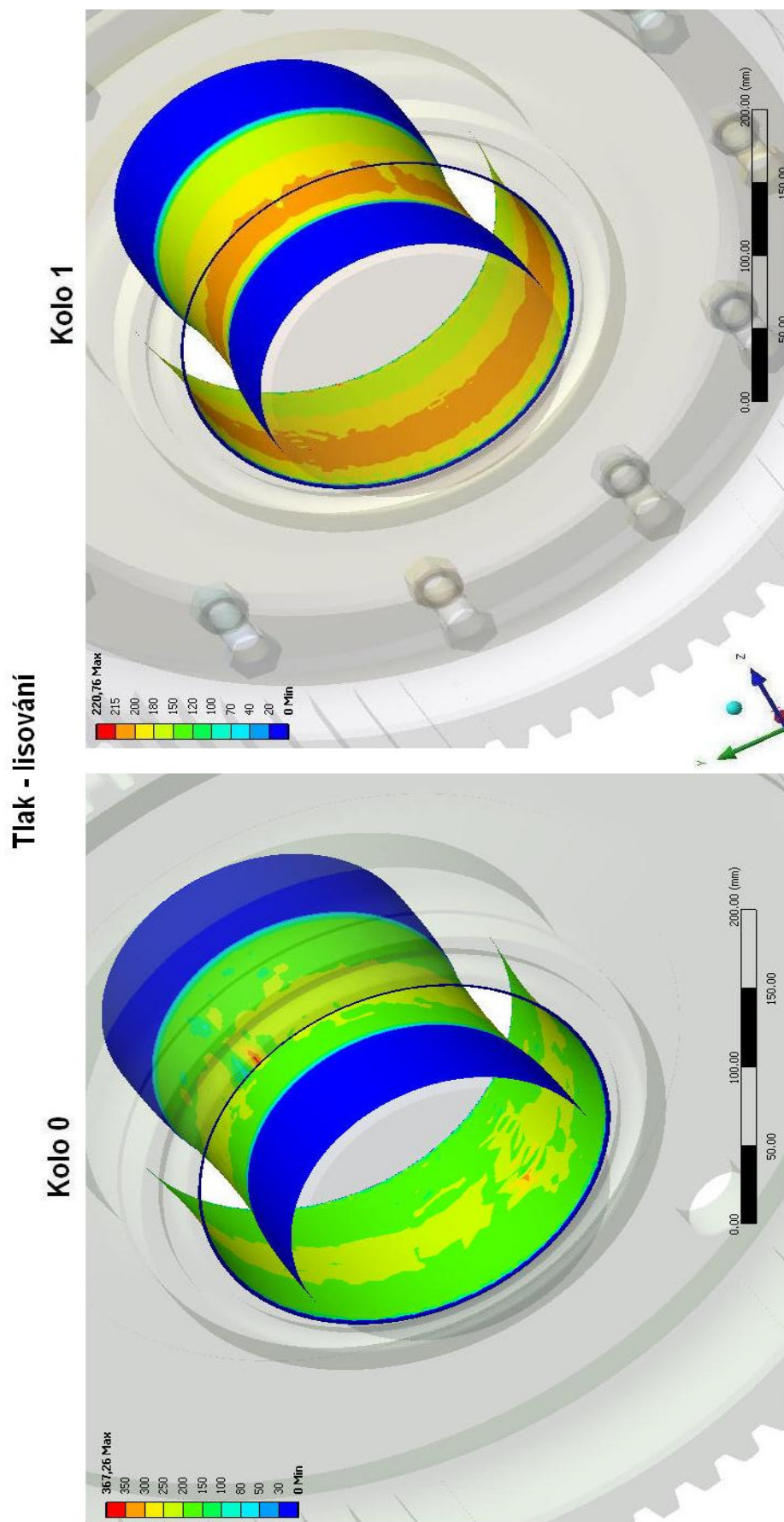
Obr. 36.: Ekvivalentní napětí pro obě ozubená kola – zatížení



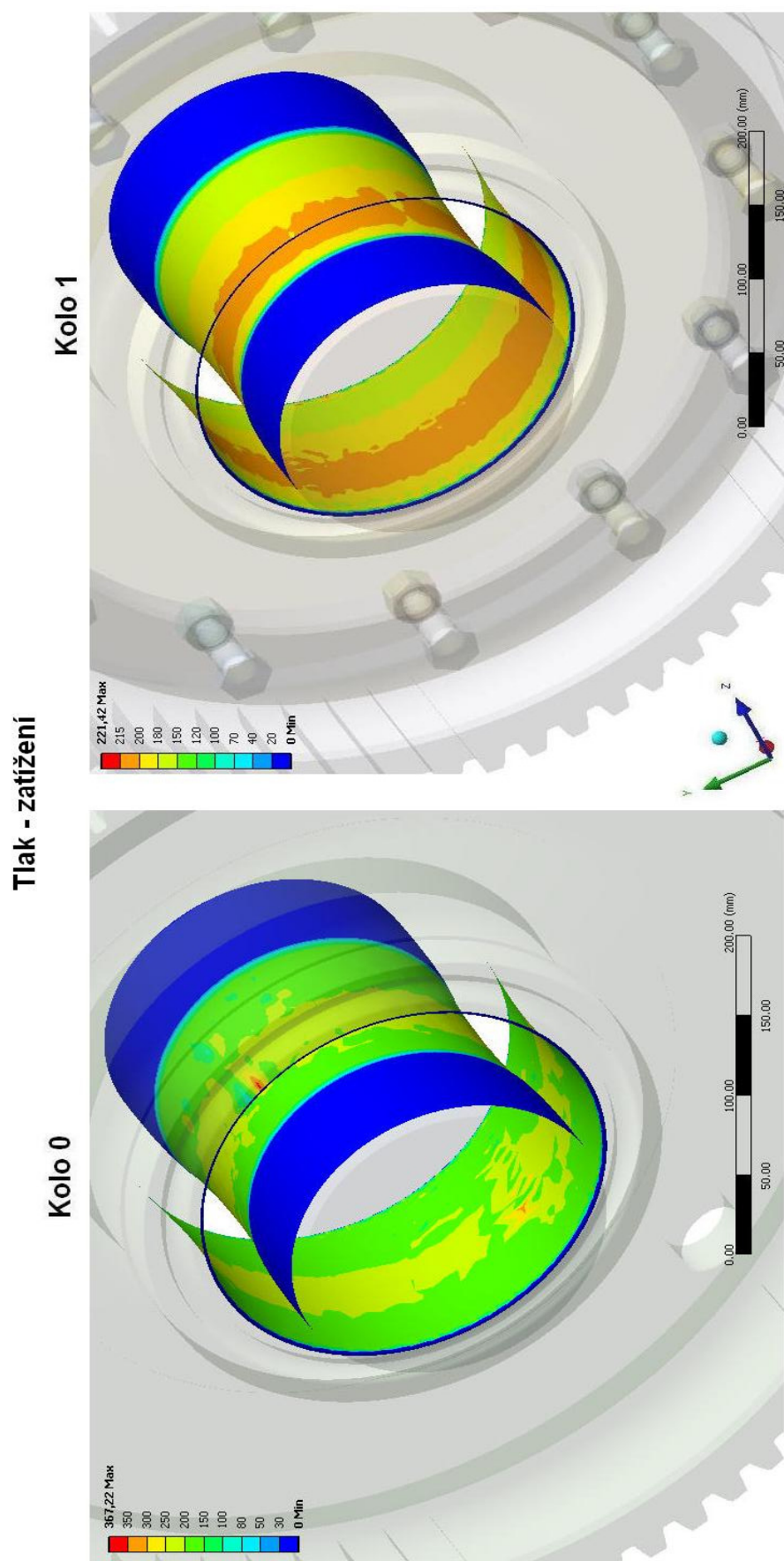
Obr. 37.: Totální deformace pro obě ozubená kola – lisování



Obr. 38.: Totální deformace pro obě ozubená kola – zatížení



Obr. 39.: Tlak pro obě ozubená kola – lisování



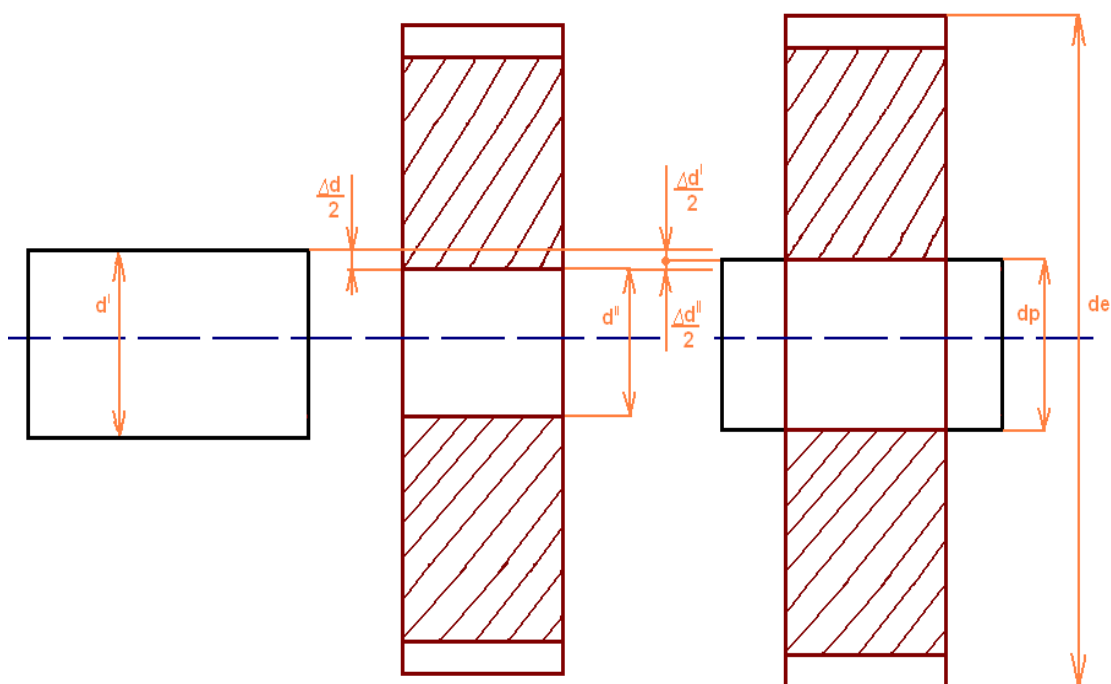
Obr. 40.: Tlak pro obě ozubená kola – zatížení

7.2 Výpočet lisovacího tlaku pro ozubená kola /7/, /8/, /9/, /17/

V této kapitole je proveden kontrolní výpočet tlaku, vzniklý mezi hřídelí a ozubeným kolem při lisování. Tento výpočet je uvažovaný pro extrémní stav, který může nastat při toleranci H6/u6, maximální průměr hřídele (nápravy) a minimální průměr díry ozubeného kola.

- výpočet lisovacího tlaku – Kolo 0 (původní ozubené kolo)**

S indexem I je značena hřídel a s indexem II ozubené kolo.



Obr. 41.: Rozměry součástí spojených nalisováním

Okrajové podmínky pro výpočet příslušných průměrů, radiálního a tečného napětí.

$$\Delta d^I = d^I - d_p$$

$$\Delta d^{II} = d_p - d^{II}$$

$$\Delta d = |d^I| - \Delta d^{II}$$

$$\sigma_{r(r)} = A - \frac{B}{r^2}$$

$$\sigma_{t(r)} = A + \frac{B}{r^2}$$



hřídel

kolo 0

Okrajové podmínky pro hřídel (s indexem I) a kolo 0 (s indexem II).

$$\sigma_{r(0)}^I = \sigma_{t(0)}^I$$

$$\sigma_{r(r_p)}^I = -p$$

$$\sigma_{r(r_p)}^I = A^I - \frac{B^I}{r_p^2} = -p$$

$$\sigma_{r(0)}^I = A^I = \sigma_{t(0)}^I = -p$$

$$\sigma_{t(r_p)}^I = A^I + \frac{B^I}{r_p^2}$$

$$A^I = -p$$

$$B^I = 0$$

$$\sigma_{t(r_p)}^I = A^I + \frac{B^I}{r_p^2} = -p$$

$$\sigma_{r(r_p)}^I = A^I - \frac{B^I}{r_p^2} = -p$$

$$\sigma_{r(r_e)}^{II} = 0$$

$$\sigma_{r(r_p)}^{II} = -p$$

$$\sigma_{r(r_e)}^{II} = A^{II} - \frac{B^{II}}{r_e^2} = 0$$

$$\sigma_{r(r_p)}^{II} = A^{II} - \frac{B^{II}}{r_p^2} = -p$$

$$\sigma_{t(r_p)}^{II} = A^{II} + \frac{B^{II}}{r_p^2}$$

$$A^{II} = p \frac{r_p^2}{r_e^2 - r_p^2}$$

$$B^{II} = p \frac{r_e^2 \cdot r_p^2}{r_e^2 - r_p^2}$$

$$\sigma_{t(r_p)}^{II} = p \frac{r_p^2}{r_e^2 - r_p^2} + \frac{1}{r_p^2} \cdot p \frac{r_e^2 \cdot r_p^2}{r_e^2 - r_p^2}$$

$$\sigma_{t(r_p)}^{II} = \frac{p}{r_e^2 - r_p^2} \cdot (r_p^2 + r_e^2)$$

$$\sigma_{r(r_p)}^{II} = p \frac{r_p^2}{r_e^2 - r_p^2} - \frac{1}{r_p^2} \cdot p \frac{r_e^2 \cdot r_p^2}{r_e^2 - r_p^2}$$

$$\sigma_{r(r_p)}^{II} = \frac{p}{r_e^2 - r_p^2} \cdot (r_p^2 - r_e^2)$$

známé hodnoty:

$$\Delta d = 0,265 \text{ mm}$$

$$d^I = 192,265 \text{ mm}$$

$$E^I = 210000 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t(r_p)}^I = -p$$

$$\sigma_{r(r_p)}^I = -p$$

$$\mu^I = 0,33$$

$$d_p = 192,1325 \text{ mm}$$

$$\Delta d = 0,265 \text{ mm}$$

$$d^{II} = 192,265 \text{ mm}$$

$$E^{II} = 210000 \text{ MPa}$$

$$d_e^{II} = 666,34 \text{ mm}$$

$$\sigma_{t(r_p)}^{II} = \frac{p}{r_e^2 - r_p^2} \cdot (r_p^2 + r_e^2)$$

$$\sigma_{r(r_p)}^{II} = \frac{p}{r_e^2 - r_p^2} \cdot (r_p^2 - r_e^2)$$

$$\mu^{II} = 0,33$$

Dosazením okrajových podmínek do obecné rovnice pro poměrnou deformaci ε_t .

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta d}{d} = \frac{1}{E} \cdot (\sigma_t - \mu \cdot \sigma_r)$$

$$\Delta d^I = \frac{d^I}{E^I} \cdot \left[\sigma_{t(r_p)}^I - \mu^I \cdot \sigma_{r(r_p)}^I \right]$$

$$\Delta d^{II} = \frac{d^{II}}{E^{II}} \cdot \left[\sigma_{t(r_p)}^{II} - \mu^{II} \cdot \sigma_{r(r_p)}^{II} \right]$$

$$\Delta d = \left| d^I \right| - \Delta d^{II}$$

$$\Delta d = \left| \frac{d^I}{E^I} \cdot \left[\sigma_{t(r_p)}^I - \mu^I \cdot \sigma_{r(r_p)}^I \right] \right| + \frac{d^{II}}{E^{II}} \cdot \left[\sigma_{t(r_p)}^{II} - \mu^{II} \cdot \sigma_{r(r_p)}^{II} \right]$$

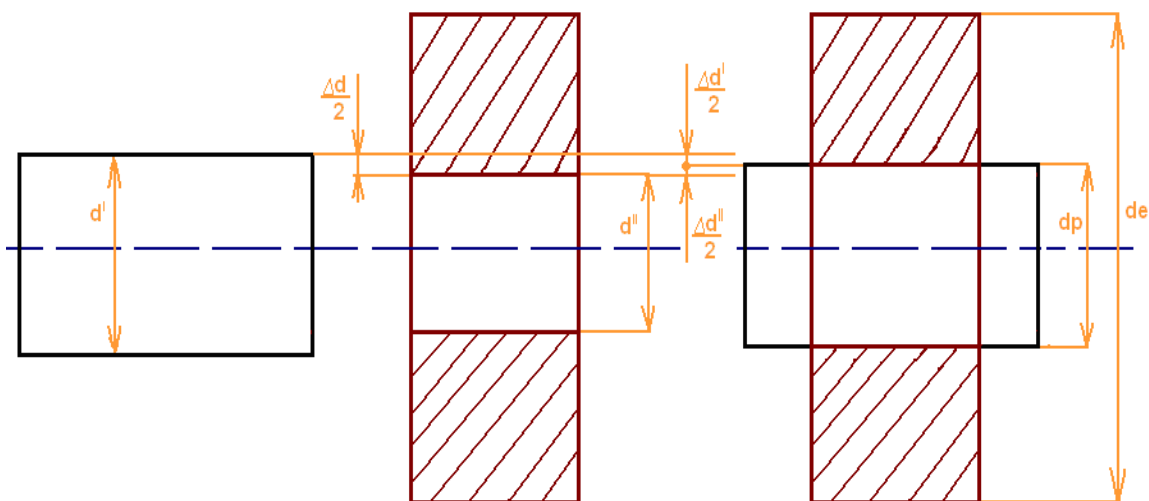
Po dosazení a úpravě výrazu dostaneme hodnotu námi zjišťovaného tlaku.

$$\underline{p = 344,488 \text{ MPa}}$$

Porovnáním obou vypočtených hodnot tlaku při nalisování (Ansys Workbench s ručním) jsme zjistily, že výsledná hodnota tlaku u softwarového výpočtu je o cca 50 MPa nižší než u ručního. Tato nesrovnalost výpočtů je zapříčiněna úvahou pro ideální tvar (hřídel a deska) u softwaru Ansys Workbench.

- **výpočet lisovacího tlaku – Kolo 1 (monoblok ozubeného kola)**

S indexem I je značena hřídel a s indexem II ozubené kolo.



Obr. 42.: Rozměry součástí spojených nalisováním

Okrajové podmínky pro výpočet příslušných průměrů, radiálního a tečného napětí

$$\Delta d' = d' - d_p$$

$$\Delta d'' = d_p - d''$$

$$\Delta d = |d'| - \Delta d''$$

$$\sigma_{r(r)} = A - \frac{B}{r^2}$$

$$\sigma_{t(r)} = A + \frac{B}{r^2}$$

hřídel**kolo 1**

Okrajové podmínky pro hřídel (s indexem I) a kolo 1 (s indexem II).

$$\sigma_{r(0)}^I = \sigma_{t(0)}^I$$

$$\sigma_{r(r_p)}^I = -p$$

$$\sigma_{r(r_p)}^I = A^I - \frac{B^I}{r_p^2} = -p$$

$$\sigma_{r(0)}^I = A^I = \sigma_{t(0)}^I = -p$$

$$\sigma_{t(r_p)}^I = A^I + \frac{B^I}{r_p^2}$$

$$A^I = -p$$

$$B^I = 0$$

$$\sigma_{t(r_p)}^I = A^I + \frac{B^I}{r_p^2} = -p$$

$$\sigma_{r(r_p)}^I = A^I - \frac{B^I}{r_p^2} = -p$$

$$\sigma_{r(r_e)}^{II} = 0$$

$$\sigma_{r(r_p)}^{II} = -p$$

$$\sigma_{r(r_e)}^{II} = A^{II} - \frac{B^{II}}{r_e^2} = 0$$

$$\sigma_{r(r_p)}^{II} = A^{II} - \frac{B^{II}}{r_p^2} = -p$$

$$\sigma_{t(r_p)}^{II} = A^{II} + \frac{B^{II}}{r_p^2}$$

$$A^{II} = p \frac{r_p^2}{r_e^2 - r_p^2}$$

$$B^{II} = p \frac{r_e^2 \cdot r_p^2}{r_e^2 - r_p^2}$$

$$\sigma_{t(r_p)}^{II} = p \frac{r_p^2}{r_e^2 - r_p^2} + \frac{1}{r_p^2} \cdot p \frac{r_e^2 \cdot r_p^2}{r_e^2 - r_p^2}$$

$$\sigma_{t(r_p)}^{II} = \frac{p}{r_e^2 - r_p^2} \cdot (r_p^2 + r_e^2)$$

$$\sigma_{r(r_p)}^{II} = p \frac{r_p^2}{r_e^2 - r_p^2} - \frac{1}{r_p^2} \cdot p \frac{r_e^2 \cdot r_p^2}{r_e^2 - r_p^2}$$

$$\sigma_{r(r_p)}^{II} = \frac{p}{r_e^2 - r_p^2} \cdot (r_p^2 - r_e^2)$$

známé hodnoty:

$$\Delta d = 0,265 \text{ mm}$$

$$d^I = 192,265 \text{ mm}$$

$$E^I = 210000 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t(r_p)}^I = -p$$

$$\sigma_{r(r_p)}^I = -p$$

$$\mu^I = 0,33$$

$$d_p = 192,1325 \text{ mm}$$

$$\Delta d = 0,265 \text{ mm}$$

$$d^{II} = 192,265 \text{ mm}$$

$$E^{II} = 210000 \text{ MPa}$$

$$d_e^{II} = 460 \text{ mm}$$

$$\sigma_{t(r_p)}^{II} = \frac{p}{r_e^2 - r_p^2} \cdot (r_p^2 + r_e^2)$$

$$\sigma_{r(r_p)}^{II} = \frac{p}{r_e^2 - r_p^2} \cdot (r_p^2 - r_e^2)$$

$$\mu^{II} = 0,33$$

Dosazením okrajových podmínek do obecné rovnice pro poměrnou deformaci ε_t .

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta d}{d} = \frac{1}{E} \cdot (\sigma_t - \mu \cdot \sigma_r)$$

$$\Delta d^I = \frac{d^I}{E^I} \cdot \left[\sigma_{t(r_p)}^I - \mu^I \cdot \sigma_{r(r_p)}^I \right]$$

$$\Delta d^{II} = \frac{d^{II}}{E^{II}} \cdot \left[\sigma_{t(r_p)}^{II} - \mu^{II} \cdot \sigma_{r(r_p)}^{II} \right]$$

$$\Delta d = \left| d^I \right| - \Delta d^{II}$$

$$\Delta d = \left| \frac{d^I}{E^I} \cdot \left[\sigma_{t(r_p)}^I - \mu^I \cdot \sigma_{r(r_p)}^I \right] \right| + \frac{d^{II}}{E^{II}} \cdot \left[\sigma_{t(r_p)}^{II} - \mu^{II} \cdot \sigma_{r(r_p)}^{II} \right]$$

Po dosazení a úpravě výrazu dostaneme hodnotu námi zjišťovaného tlaku.

$$\underline{p = 267,708 \text{ MPa}}$$

Porovnáním obou vypočtených hodnot tlaku při nalisování (Ansys Workbench s ručním) jsme zjistily, že výsledná hodnota tlaku u softwarového výpočtu je o cca 50 MPa nižší než u ručního jakož je to i u předchozího výpočtu.



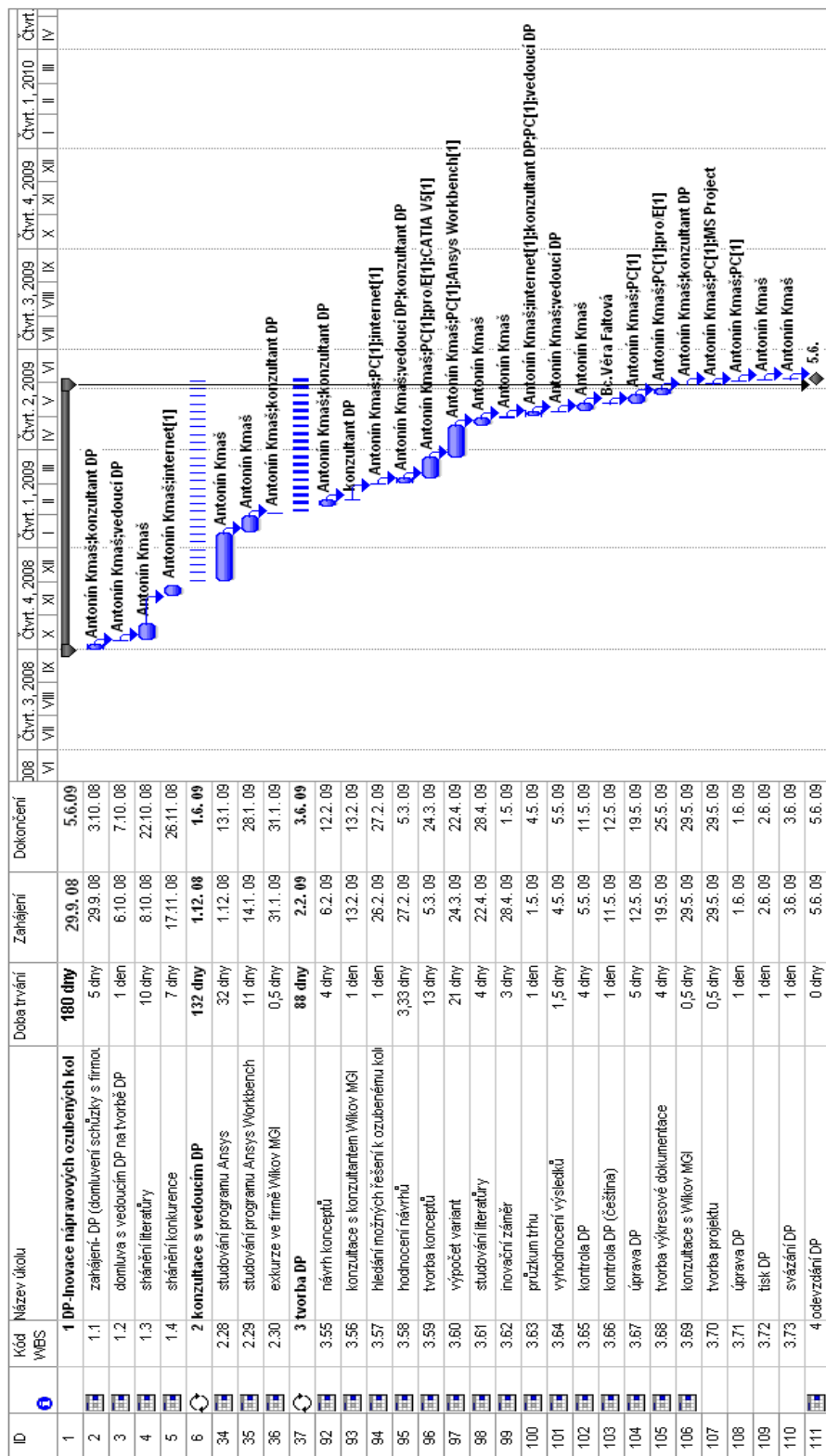
Tato nesrovnalost výpočtů je zapříčiněna úvahou pro ideální tvar (hřídel a deska) u softwaru Ansys Workbench.

8. PROJECT /20/

Microsoft Project je v současnosti označován za nejvíce využívaný účinný software pro tvorbu projektu. Umožňuje správu a řízení projektů, procesů a sdílených zdrojů. Sledujeme zde veličiny časové, věcné i nákladové. Project slouží k plánování, sledování a řízení projektů a ke komunikaci s projektovým týmem. Projekt je standardně chápán jako plán práce, který má na konci nějaký výsledek, a už je to marketingová kampaň, uvedení nového produktu, stavba domu, či provádění údržby. Projekt lze rozdělit na malé dílčí části – úkoly. K úkolům se přiřazují zdroje. Ty mohou být buď pracovní, tedy lidé, kteří odvádějí práci a tím posouvají projekt kupředu, nebo materiálové, které se během plnění projektu spotřebovávají (např. olej, mazivo). Ke každému zdroji i úkolu je možno definovat náklady, a to jak fixní, tak variabilní. Pomocí tzv. směrného plánu lze porovnávat plánované a ve skutečnosti realizované údaje, včetně kritické cesty, a provádět optimalizace. Lze nadefinovat tzv. rezervoár zdrojů, ze kterého lze zdroje čerpat a koordinovat. Pracovníci, kteří se účastní na více projektech, mohou modelovat různé situace změn priorit projektů, změny zdrojů či termínů zahájení nebo dokončení projektu a sledovat, jak by se taková změna promítla v reálu. V této aplikaci lze definovat a používat množství datových polí různých datových typů. Lze mezi nimi definovat výpočty a ověřování. Datová pole jsou databázovým způsobem relačně připojena k úkolům či zdrojům. Jakákoli pole lze zobrazit v uživatelsky nadefinovaných tabulkách, grafech a tiskových pohledech.

8.1 Plánování projektu pomocí softwaru Microsoft Project

V této kapitole byl vytvořen projekt průběhu tvorby diplomové práce od zadání tématu do odevzdání diplomové práce viz obr. 43.



Obr. 43.: Zobrazení tvorby diplomové práce v Ganttově diagramu

9. ZÁVĚR

Předložená diplomová práce je zaměřena na problematiku inovace nápravových ozubených kol pro lokomotivu typu T 478.1. U této lokomotivy docházelo při provozu k opotřebení ozubení nápravového kola. Toto kolo se muselo vyměnit, přičemž při výměně docházelo ke zničení nápravy ozubeného kola z důsledku odlisování. Cílem této práce bylo vyřešit tento neekonomický problém. Byly navrženy čtyři varianty, které řešily tento problém. Postupnými inovačními kroky byla vybrána vítězná varianta, která byla následně porovnána s původním ozubeným kolem. Vítězná varianta řeší tento problém pomocí rozdělení ozubeného kola na náboj a věnec. Tyto obě části jsou k sobě smontovány šrouby, podložkami a matkami po dvanácti kusech. Změna byla provedena i ve volbě nových materiálů. Materiál 11503 je pro náboj ozubeného kola. Hodnoty mechanických vlastností tohoto materiálu v porovnání s původním materiálem ozubeného kola 14341, jsou přibližně o polovinu nižší. I cena je nižší, což je příznivé. I když došlo k takovéto změně materiálu, přesto volba materiálu vyhovuje pro dané provozní podmínky ozubeného kola, které potvrzují výsledky z softwaru Ansys Workbench. Změna materiálu byla provedena i na věnci ozubeného kola. Tato volba materiálu nebyla tak výrazná, jako u předchozího náboje. Mechanické vlastnosti věnce ozubeného kola se snížily o hodnotu cca 100MPa, což je v tomto případě zanedbatelné (ověřeno výpočty v programu Ansys Workbench). Výpočet byl také zaměřen na kontrolu šroubových spojů, které zajišťují náboj a věnec. I pro tento spoj vyhovují provozní požadavky lokomotivy T 478.1 a požadavky firmy Wikov MGI. Při výměně poškozeného ozubení nebude docházet ke zničení nápravy lokomotivy, které vznikalo díky odlisování. Náboj bude nalisovaný, jakož to bylo u původního ozubeného kola a věnec bude pomocí šroubových spojů jednoduše odnímatelný. Cíl této diplomové práce byl tedy splněn.



10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] webová stránka: <http://www.czloko.cz>, květen 2009
- [2] webová stránka: <http://www.wikov.com>, květen 2009
- [3] webová stránka: <http://kpzs.logout.cz/>, květen 2009
- [4] Interní dokumentace firmy Wikov MGI, Hronov 2009.
- [5] webová stránka: <http://www.kll.cz>, květen 2009
- [6] MAŠÍN, I.- ŠEVČÍK, L.: *Metody inovačního inženýrství*. Liberec 2006.
- [7] PEŠÍK, L.: *Části strojů, II. díl. Liberec*: TU v Liberci, 2008.
- [8] PRÁŠIL, L. A KOLEKTIV: *Části a mechanismy strojů*. Liberec 1988.
- [9] MORAVEC V.: *Konstrukce strojů a zařízení II*. Ostrava 2001
- [10] webová stránka: <http://www.skoda.cz/>, květen 2009
- [11] webová stránka: <http://www.bonatrans.cz/>, květen 2009
- [12] webová stránka: <http://kpzs.logout.cz>, květen 2009
- [13] webová stránka: <http://technet.idnes.cz>, květen 2009
- [14] webová stránka: <http://www.vlaky.net>, květen 2009
- [15] webová stránka: <http://www.tos-znojmo.cz>
- [16] webová stránka: <http://www.contra.cz>
- [17] BOHÁČEK F.: *Části a mechanismy strojů III, převody*: VUT v Brně, 1987.
- [18] webová stránka: <http://www.bolzano.cz>, květen 2009
- [19] PRÁŠIL, L. A KOL.: *Části a mechanismy strojů*. Liberec: TU v Liberci, 1981.
- [20] LEPŠÍK, P.: *Řízení projektů – praktická cvičení*. Liberec: TU v Liberci, 2008.
- [21] PEŠÍK, L.: *Části strojů, I. díl*. Liberec: TU v Liberci, 2008.



11. SEZNAM PŘÍLOH

1. Výkresová dokumentace



Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 5. 6. 2009

Podpis:



Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact. In this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 5. 6. 2009

Signature: